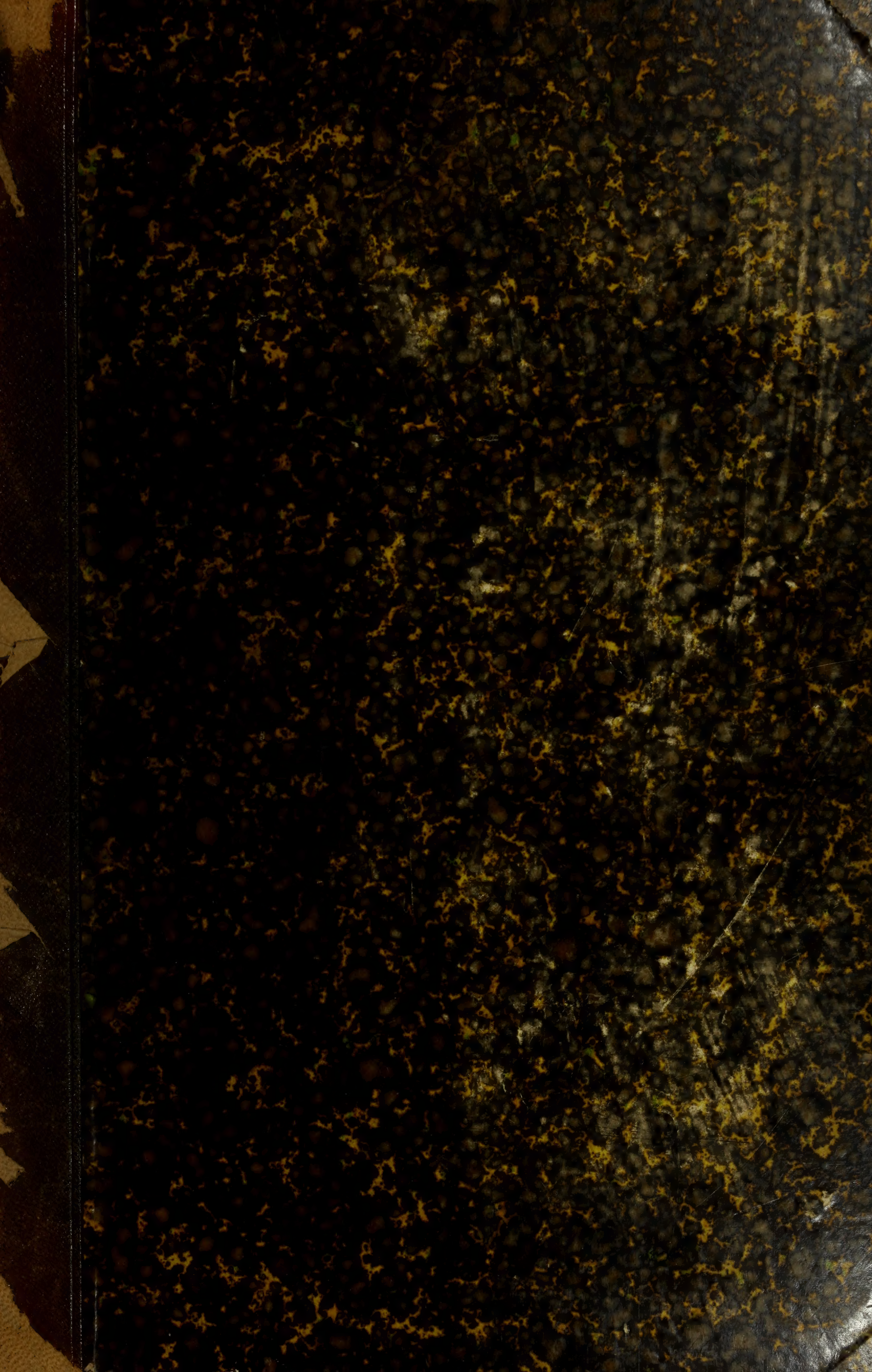
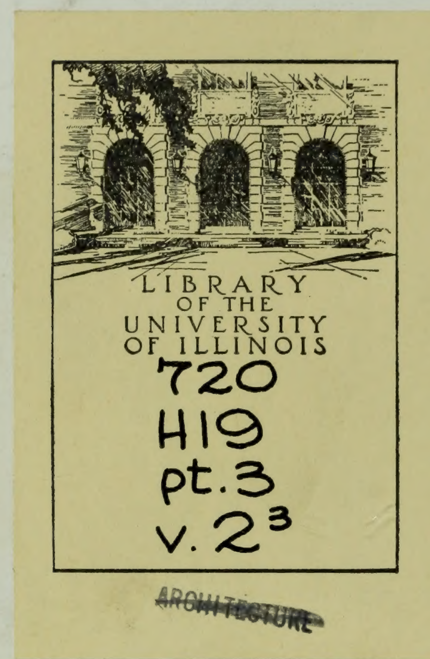
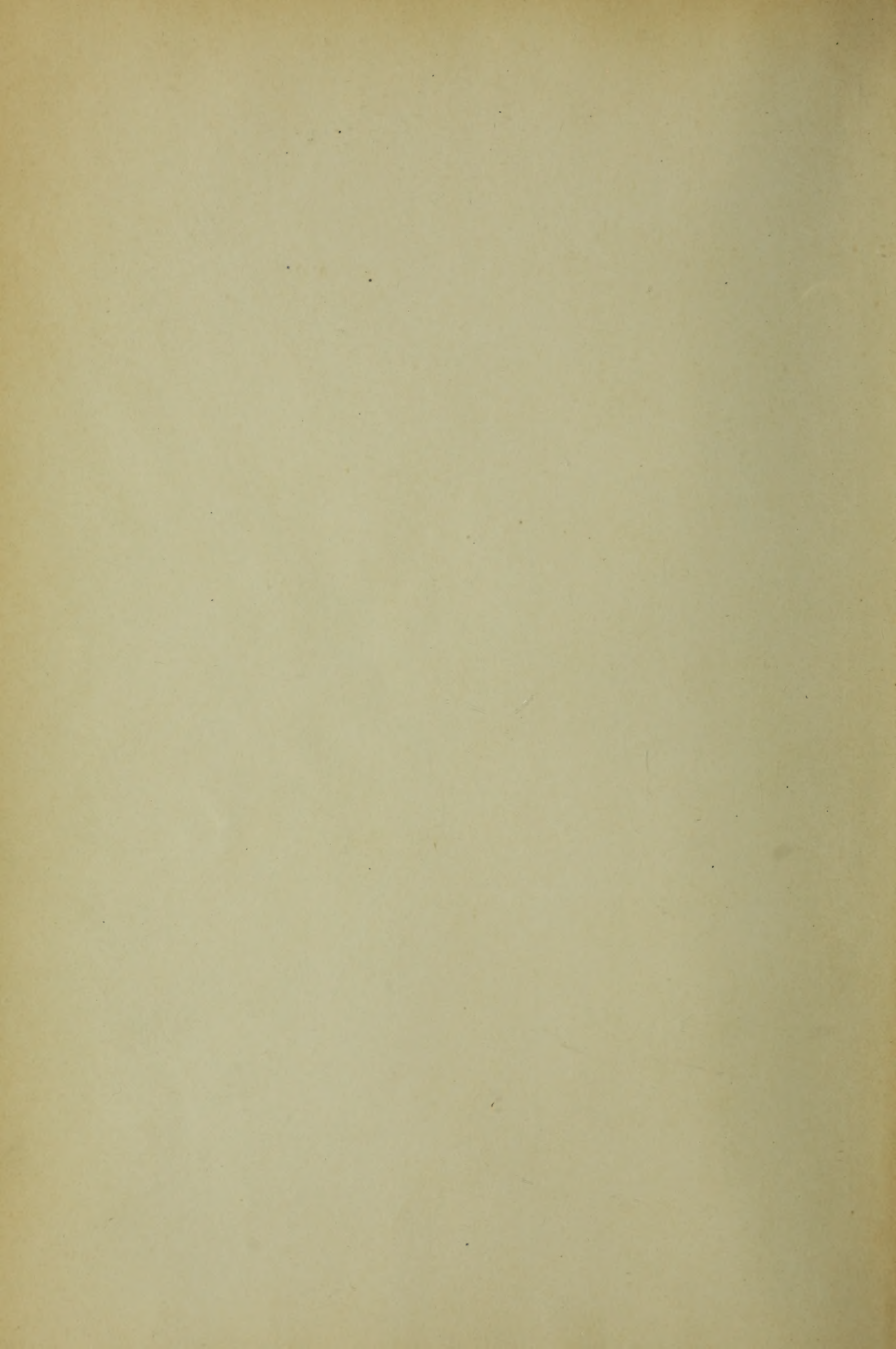
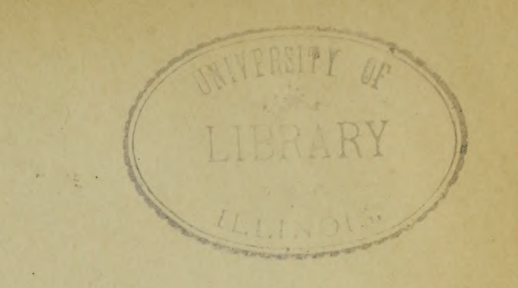
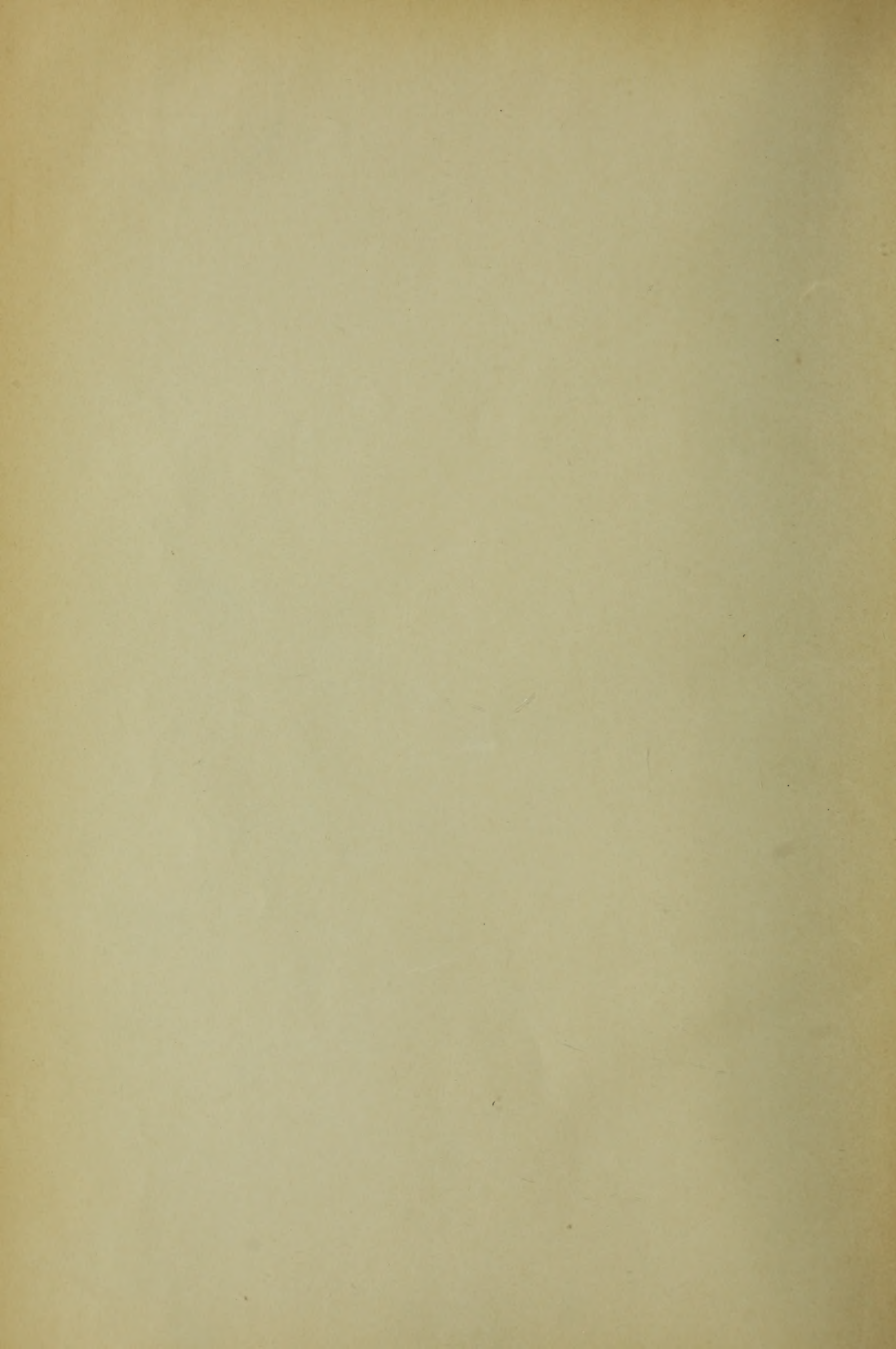


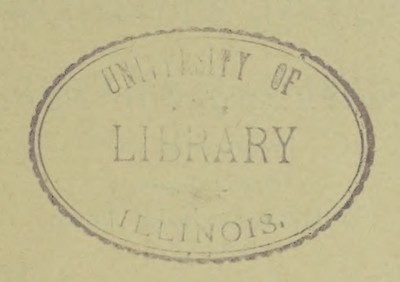

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY
OF ILLINOIS
720
H19
pt.3
v.2 3
ARCHITECTURE


UNIVERSITY OF
LIBRARY
ILLINOIS.









Die Gefammtanordnung und Gliederung des »Handbuches der Architektur« ift am Schluffe des vorliegenden Heftes zu finden.

Ebendafelbft ift auch ein Verzeichnifs der bereits erfchienenen Bände beigefügt.

Jeder Band, bezw. jeder Halb-Band und jedes Heft des »Handbuches der Architektur« bildet ein für fich abgefchloffenes Ganze und ift einzeln käuflich.

HANDBUCH

DER

ARCHITEKTUR.

Unter Mitwirkung von Fachgenoffen

herausgegeben von

Oberbaudirector
Profeffor Dr. **Jofef Durm**
in Karlsruhe,

Geheimer Regierungsrath
Profeffor **Hermann Ende**
in Berlin,

Geheimer Baurath
Profeffor Dr. **Eduard Schmitt**
in Darmftadt

und

Geheimer Baurath
Profeffor Dr. **Heinrich Wagner**
in Darmftadt.

Dritter Theil:

DIE HOCHBAU-CONSTRUCTIONEN.

2. Band:

Raumbegrenzende Conftructionen.

3. Heft:

Balkendecken.
Gewölbte Decken (Gewölbe).
Verglaste Decken und Deckenlichter.
Sonftige Decken-Conftructionen.

VERLAG VON ARNOLD BERGSTRÄSSER IN DARMSTADT.
1895.

DIE

HOCHBAU-CONSTRUCTIONEN.

DES

HANDBUCHES DER ARCHITEKTUR

DRITTER THEIL.

---

2. Band:

Raumbegrenzende Conftructionen.

3. Heft:

Balkendecken.

Von Georg Barkhaufen,
Profeffor an der technifchen Hochfchule zu Hannover.

Gewölbte Decken.

(Gewölbe.)

Von Carl Körner,
Herzogl. Braunfchweig. Geh. Hofrath und Profeffor an der technifchen Hochfchule zu Braunfchweig.

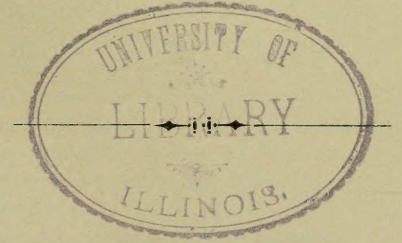
Verglaste Decken und Deckenlichter.

Von
Adolf Schacht,
Regierungs-Baumeifter in Hannover.
und
Dr. Eduard Schmitt,
Grofsh. Heff. Geh. Baurath und Profeffor an der technifchen Hochfchule zu Darmftadt.

Sonftige Decken-Conftructionen.

Von Georg Barkhaufen,
Profeffor an der technifchen Hochfchule zu Hannover.

Mit 682 in den Text eingedruckten Abbildungen, fo wie 12 in den Text eingehefteten Tafeln.



DARMSTADT 1895.
VERLAG VON ARNOLD BERGSTRÄSSER.

Zink-Hochätzungen aus der k. u. k. Hof-Photogr Kunſt-Anſtalt von C. ANGERER & GÖSCHL in Wien.
Druck der UNION DEUTSCHE VERLAGSGESELLSCHAFT in Stuttgart.

Handbuch der Architektur.

III. Theil.

Hochbau-Constructionen.

2. Band, Heft 3.



INHALTS-VERZEICHNISS.

Raumbegrenzende Conftructionen.

2. Abfchnitt.

Nach oben begrenzende Conftructionen.



Verzeichnifs

der in den Text eingehefteten Tafeln.

2. Abfchnitt.

Nach oben begrenzende Conftructionen.

1. Vorbemerkungen.

Die durch die Gebäude gefchaffenen, bezw. in denfelben vorhandenen Räume werden nach oben in der Regel durch eine Decke, feltener durch das Dach begrenzt; letzteres bildet in den allermeiften Fällen den oberften Abfchlufs des Gebäudes. Im vorliegenden Hefte diefes »Handbuches« follen die Decken, im nächftfolgenden die Dächer behandelt werden.

Wie bereits in Theil III, Band 2, Heft 1 (S. 3) diefes »Handbuches« gefagt worden ift, kann die Decke raumabfchliefsend oder raumtrennend fein, je nachdem fie den betreffenden Raum nach aufsen hin abfchliefst oder denfelben von einem darüber gelegenen Raume trennt. Im Verfolg deffen kann man unterfcheiden:

1) Decken, über denen fich kein benutzter Raum befindet, welche alfo keinen Fufsboden [1]) zu tragen und nur den Zweck der Raumabfchliefsung zu erfüllen haben.

2) Decken, über denen ein oder mehrere benutzte Räume vorhanden find, alfo Decken, welche letztere Räume nach unten begrenzen und defshalb einem Fufsboden [1]) als Unterlage zu dienen haben.

3) Decken, welche den Unterbau für einen Altan, eine Terraffe etc. bilden.

Die Conftruction der Decken ift eine fehr mannigfaltige. Sie laffen fich in diefer Hinficht in drei Gruppen trennen:

1) Balkendecken oder Decken, deren hauptfächlich tragende Conftructionstheile von fog. Balkenträgern [2]) gebildet werden;

2) Gewölbte Decken, welche von fteinernen Gewölben gebildet werden, und

3) Decken, die aus anderen Bauftoffen, bezw. in anderer Weife conftruirt find.

[1]) Die Fufsböden werden, obigen Ausführungen entfprechend, im vorliegenden Abfchnitt nicht zu befprechen fein. Es giebt Fufsböden, die nicht auf einer Decken-Conftruction aufruhen, und andererfeits Decken, auf denen keinerlei Fufsboden lagert. Ueber Conftruction und formale Ausbildung der Fufsböden ift in Theil III, Band 3, Heft 3 diefes »Handbuches« das Erforderliche zu finden; hier wird der Fufsboden-Conftruction nur in fo fern zu gedenken fein, als Decken die Unterlage für Fufsböden bilden können.

[2]) Siehe Theil I, Band 1, zweite Hälfte diefes »Handbuches«, Art. 355, S. 315 (2. Aufl.: Art. 148, S. 125).

A. Balkendecken.

Von Georg Barkhausen.

In den nachftehenden Kapiteln wird mit der Betrachtung der Balkendecken begonnen, weil diefe — wenn man etwa von Steinplattendecken abfieht — die gefchichtlich älteften und in der Regel auch in Conftruction und Ausführung die einfacheren find. Denfelben folgt die Befprechung der gewölbten Decken, und den Schlufs bilden die anderweitigen Decken-Conftructionen, deren Anwendung grofsentheils erft der neueren Zeit angehört.

Literatur

über »Balkendecken im Allgemeinen«.

Parallèle entre les planchers en fer et les planchers en bois, au point de vue de leur prix et de leurs dimenfions générales. Nouv. annales de la conft. 1856, S. 29.

Trélat. *Comparaifon entre les planchers en fer et les planchers en bois. Nouv. annales de la conft.* 1856, S. 104.

Liger, F. *Pans de bois et pans de fer.* Paris 1867.

Prix comparatif des planchers en fer et des planchers en bois. Gaz. des arch. et du bât. 1873, S. 100.

Strohmayer, L. Vergleich der üblichen Decken-Conftructionen. Wochfchr. d. öft. Ing.- u. Arch.-Ver. 1877, S. 243, 247, 251.

Stach, F. Ueber Deckenconftructionen. Wochfchr. d. öft. Ing.- u. Arch.-Ver. 1878, S. 58.

Les pans de fer et les pans de bois. Moniteur des arch. 1878, S. 33.

---

1. Kapitel.

Unterftützung der Balkendecken.

Die wichtigfte allgemeine Grundregel für die Unterftützung der Balkendecken befagt, dafs jeder tragende Theil eine genügende Auflager-Grundfläche erhalten mufs, um in ihr eine der Tragfähigkeit der unterftützenden Theile entfprechende Belaftung der Flächeneinheit zu ermöglichen.

Die Unterftützung erfolgt durch die Gebäudewände oder durch Freiftützen.

a) Unterftützung durch Gebäudewände.

2. Steinerne Wände.

Die Gebäudewände können ganz in Stein, in Fachwerk, in Holz etc. ausgeführt fein.

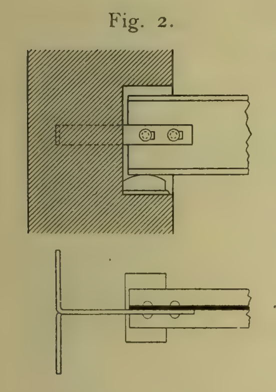
Bei ganz fteinernen Wänden find bezüglich der Beftimmung der Gröfse der Auflagerflächen für die die Decken tragenden Theile diejenigen Einheitsbelaftungen mafsgebend, welche als zuläffige in Theil I, Band 1, zweite Hälfte (Art. 281,

S. 247 [3]), Theil III, Band 1 (Fuſsnote 104, S. 196 [4]) und Band 2, Heft 1 (Abth. III, Abſchn. 1, A, Kap. 11, a: Wandſtärken) dieſes »Handbuches« angegeben ſind.

Gewöhnlich wird angenommen, daſs ſich der Druck der die Decke tragenden Theile gleichförmig über die Lagerfläche vertheilt. In der That wird aber dieſe Vertheilung durch die Durchbiegung der Träger unmöglich gemacht, welche ſtets eine Mehrbelaſtung der Auflager-Vorderkante bewirkt. Eine derartige Kantenbelaſtung des Mauerwerkes iſt aber ſchädlich, und deſshalb iſt es bei ſchwer belaſteten Decken, wo die Auflagerflächen nicht — wie in den gewöhnlichen Fällen — aus praktiſchen Rückſichten gröſser gemacht ſind, als ſie ſtreng genommen zu ſein brauchten, rathſam, die tragenden Theile, etwa Balken, auf ein Bohlenſtück oder eine Platte von Cementmörtel zu lagern, deren Vorderkante um einige Centimeter von der Mauerkante, dieſe entlaſtend, entfernt bleibt (Fig. 1). Beſonders häufig tritt bei eiſernen Trag-Conſtructionen in Folge der hohen Feſtigkeit des Eiſens, gegenüber der des Mauerwerkes, der Fall ein, daſs zur Erzielung einer genügenden Lagerfläche am Träger ſelbſt, bei der meiſt geringen Breite des letzteren, ein übermäſsig langes Stück in die Wand geſteckt werden müſste, wodurch die Wand geſchwächt, der Träger unnöthig lang und die Druckvertheilung erheblich ungleichmäſsiger wird, als bei kurzer Lagerung. In ſolchen Fällen wird es nöthig, eine beſondere Lagerplatte zwiſchen Träger und Mauerwerk einzulegen, welche aus Guſseiſen nach Fig. 2 oder nach Fig. 588 (S. 216 [5]) in Theil III, Band 1 dieſes »Handbuches« auszubilden iſt. Zweck der Platte iſt, die zu groſse Auflagerlänge durch Verbreiterung des Lagers zu verkürzen; auch dieſe Platte ſoll um einige Centimeter von der Mauerkante entfernt bleiben. Alle ſolche Platten ſind zunächſt auf Keilen 1,5 bis 2,0 cm hohl zu verlegen und dann mit Cement zu vergieſsen.

Fig. 1.

Fig. 2.



Die Verbeſſerung der Druckvertheilung kann auch durch eine unter allen Trägerköpfen der Decke in der Mauer entlang laufende *Mauerlatte*, auch *Mauerbank*, *Raſtlade*, *Roſtlade* oder *Roſtſchlieſse* genannt, erzielt werden, auf welcher hölzerne Balken verkämmt werden (ſiehe Fig. 515, S. 179 in Theil III, Band 1 dieſes »Handbuches« [6]). Dieſelbe kommt ausſchlieſslich bei hölzernen Tragwerken vor und hat hier den Vortheil, daſs das Verzimmern der hölzernen Träger (Balkenlagen) durch Anordnung dieſer einrahmenden Hölzer an Genauigkeit, weil an Bequemlichkeit gewinnt. Andererſeits werden aber die Wände durch die durchlaufende Nuth, welche für die Einlagerung der durchgehenden Latte ausgeſpart werden muſs, in höchſt bedenklicher Weiſe geſchwächt. Es empfiehlt ſich daher die Verwendung der Mauerlatte — abgeſehen von der Benutzung als Entlaſtungsträger über Oeffnungen oder ſonſtigen ſchwachen Stellen der Mauern — auf ſolche Fälle zu beſchränken, in denen ſie ohne Herſtellung einer Nuth entweder auf einen Mauerabſatz — bei Verſtärkung der Wände —

[3]) 2. Aufl.: Art. 77, S. 53.
[4]) 2. Aufl.: Fuſsnote 113, S. 220.
[5]) 2. Aufl.: Fig. 605 u. 606, S. 245 u. 246.
[6]) 2. Aufl.: Fig. 528, S. 194.

oder auf eine Maueroberfläche — bei Dachbalkenlagen — verlegt werden kann; namentlich für den letzteren Fall ift ihre Verwendung behufs Vertheilung der Dachlaften zu empfehlen. Auch die Mauerlatte mufs mit der Aufsenkante etwas von der Mauerkante entfernt bleiben.

In den meiften Fällen haben die Decken-Tragwerke neben der Aufgabe, die Deckenlaften aufzunehmen, noch die der gegenfeitigen Verankerung der Gebäudewände zu erfüllen, zu welchem Zwecke dann zwifchen den Trägerenden und den Wänden eine Verbindung nach Art von Fig. 3, 4, 5, 6 u. Fig. 514, 515, 516 (S. 179) in Theil III, Band 1 diefes »Handbuches« [7]) hergeftellt werden mufs. Diefe Verbindungen können mit geringen Abänderungen auch für eiferne Träger verwendet werden; eine einfache derartige Anordnung ftellt Fig. 2 dar. Bei fchweren Trägeranordnungen erfolgt diefe Verbindung gewöhnlich in der durch Fig. 602 (S. 224 [8]) im gleichen Bande dargeftellten Weife, indem man eine untere Rippe der Lagerplatte, in welcher der Träger unbeweglich befeftigt ift, nach unten in das Mauerwerk greifen läfft und hier vergiefst. Vorausfetzung ift hierbei, dafs das Mauerwerk zum Einftemmen der erforderlichen Nuth feft genug ift. Diefe Art der Befeftigung wird aber nach dem an der bezeichneten Stelle Gefagten dann für die Wände gefährlich, wenn die Träger lang und erheblichen Temperaturfchwankungen ausgefetzt find, weil die Mauern dann durch die Längenänderungen der mit ihnen feft verbundenen Träger hin und her bewegt werden. In folchen Fällen mufs man die Verankerung der Wände durch die Deckenträger aufgeben und die Wandftärken nöthigenfalls unter Anfügen von Strebepfeilern fo bemeffen, dafs die Wände für fich hinreichend ftandfeft find. (Siehe Theil III, Bd. 1 [Abth. III, Abfchn. 1, A, Kap. 11, b: Wandverftärkungen] diefes »Handbuches«.)

Bei Feuersbrünften wurde mehrfach der Einfturz der Gebäude dadurch hervorgerufen, dafs die Längenausdehnung der an den Enden feft eingemauerten eifernen Träger in Folge des hohen Wärmegrades die Mauern nach aufsen umwarf. Es ift daher nothwendig, den Enden eiferner Träger genügend freies Spiel zu laffen, d. h. das Mauerwerk vom Trägerende zurückzufetzen und die Bolzenlöcher etwaiger Ankeranfchlüffe länglich zu geftalten (Fig. 2). Das Mafs der Ausdehnung berechne man für Eifen und Stahl nach dem Ausdehnungsverhältniffe 0,0000123 für 1 Grad C. Wärmezunahme und mache ferner noch die Annahme, dafs die ganze Längenänderung an einem Trägerende zum Austrage kommt.

Da die Deckenträger fich gleichmäfsig über die ganze Länge der Mauern vertheilen müffen, fo ift die Lagerung einer gewiffen Anzahl derfelben über den Maueröffnungen des unteren Gefchoffes im Allgemeinen nicht zu umgehen. Sind diefe fchmal, z. B. gewöhnliche Fenfter eines Wohnhaufes, fo kann man die Deckenträger unbedenklich, wie es gerade bequem erfcheint, über dem Schlufsbogen der Oeffnung lagern. Werden die Oeffnungen aber weit, z. B. Einfahrten, Schaufenfter u. dergl., fo ift für den Abfchlufs mittels Wölbbogen meift keine genügende Höhe vorhanden; auch würden die bedeutenden Laften Bogenfchübe bewirken, für welche die Widerlager nicht vorhanden find. Man lege dann zunächft Träger über diefe Oeffnungen, welche die Laft der Deckenträger und dazu häufig noch diejenige der Mauern der darüber liegenden Gefchoffe zu tragen haben.

In dem Falle, dafs die gewölbten Bogen über den Oeffnungen wohl zur Auf-

---

[7]) 2. Aufl.: Fig. 527, 528 u. 529, S. 194.

[8]) 2. Aufl.: Fig. 618, S. 256 u. Fig. 620, S. 257.

nahme der aufruhenden Mauerlaſt, nicht aber zu der der Deckenlaſt ſtark genug erſcheinen, lege man über den Bogen in die Mauer noch einen mauerlattenartigen Längsträger, welcher die Deckenträger aufnimmt. Dieſer Träger ſoll nun aber nicht wie eine Mauerlatte bloſs druckvertheilend wirken, ſondern er ſoll die geſammte, über der Oeffnung ruhende Deckenlaſt aus deren Bereiche auf die Seitenbegrenzungen übertragen; daraus folgt, daſs er nicht voll auf dem Bogen untermauert werden darf, ſondern beiderſeits neben der Oeffnung regelrechte Auflager erhalten, innerhalb derſelben aber vom Mauerwerke ſo weit frei bleiben muſs, daſs er die ſeiner Belaſtung entſprechende Durchbiegung annehmen kann, ohne das Mauerwerk zu berühren.

Bei ſchwachen und bei ſtark belaſteten Mauern erſcheint das Einlagern von Mauerlatten regelmäſsig, oft aber auch das Einſtecken der Balkenköpfe unzuläſſig, weil die entſtehenden Löcher zu bedeutende Schwächung der Mauer hervorrufen.

In ſolchen Fällen kann man: 1) die Balken auf ausgekragte Lager aus Backſtein, Hauſtein oder Eiſen lagern, indem man entweder unter jeden Balkenkopf ein Kragſtück, bezw. eine Conſole ſetzt, oder 2) die Balken mittels eines auf in weiterer Theilung angebrachten Conſolen gelagerten Trägers unterſtützt (Fig. 3, 5 u. 6) oder 3) einige Kragſchichten auf die ganze Länge der Mauer vorſtrecken (Fig. 4). Bei dieſer Art der Lagerung wird allerdings die Wand in ſo fern ungünſtig beanſprucht, als das Kräftepaar A (Fig. 3) dieſelbe mit der Momentengröſse Ad nach innen zu kanten ſucht; die Mauer muſs alſo dann ſtark genug ſein, um auſser den auf ſie wirkenden lothrechten Laſten auch dieſes Moment aufzunehmen. Iſt aber die Wand — z. B. durch einen aus dem Dachſtuhle ſich entwickelnden Schub — ſchon vorwiegend an der Auſsenkante belaſtet, ſo kann dieſe die Preſſungen an der Innenkante vergröſsernde Art der Balkenlagerung ſogar günſtig für die Wand wirken.

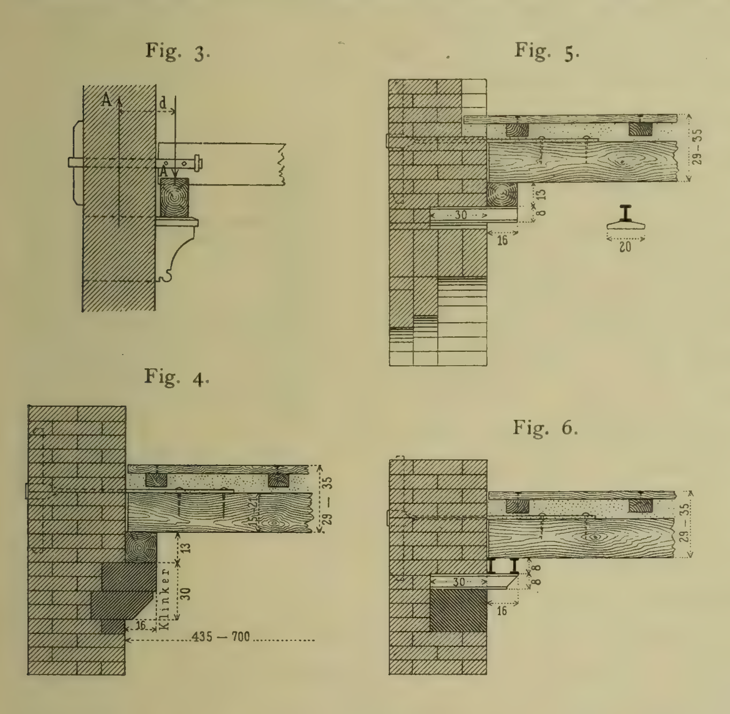


Fig. 3. Fig. 5. Fig. 4. Fig. 6.

Die Hauſtein-Conſolen greifen durch die ganze Wandſtärke; bei ihnen wie bei den in Backſteinen vorgekragten Schichten ſoll die Ausladung bis Auflagermitte (A in Fig. 3) die Hälfte der Höhe nicht weſentlich überſchreiten.

Eine Verankerung der Wand, wenigſtens an einzelnen Balken, wird auch hier regelmäſsig ausgeführt (Fig. 3 bis 6).

Die Lagerung hölzerner Balken vor der Wand erfolgt bei geringer Stärke der letzteren auch zu dem Zwecke, die Balkenköpfe, welche bei Einlagerung die ganze Mauerſtärke durchdringen würden, nicht mit dem Hirnende der Witterung auszuſetzen.

Ausgeführte Beifpiele derartiger Lagerung auf Kragfchichten und Confolen zeigen Fig. 4, 5 u. 6, welche dem Gymnafial-Convicts-Gebäude in Horn[9]) entnommen find.

Da die Säle bedeutende Längen (bis zu 23 m) haben, fo fürchtete man die bei Einlagerung der Balken der verwendeten Dübeldecke unvermeidliche Schwächung der Mauern und führte daher bei 6,00 bis 7,15 m Saaltiefe die in Fig. 4 dargeftellte Kraglagerung in harten Klinkern aus; die Mehrkoften hierfür betrugen, einfchl. der Lagerfchwelle und des Putzens des die Kragleifte verdeckenden Gefimfes, für 1 lauf. Meter 4,4 Mark (= 2,2 Gulden.) Bei Saaltiefen von weniger als 6,00 m wurde die Vorkragung in den gewöhnlichen Mauerfteinen ausgeführt und koftete dann nur 1,8 Mark (0,9 Gulden) für 1 lauf. Meter.

Ueber den Fenftern liefs fich die Steinvorkragung wegen mangelnder Höhe nicht mehr durchführen; hier wurden daher in 75 cm Abftand kurze Abfchnitte von I-Trägern Nr. 8 unter Auflagerung auf kleine gufseiferne Druckvertheilungsplatten eingemauert, welche dann die Auflagerfchwelle tragen (Fig. 5). Die in Fig. 6 dargeftellte Anordnung von eifernen Kragträgern auf Auflagerquadern, welche als Lagerfchwelle ein Paar I-Träger Nr. 8 tragen, wurde wegen der geringeren Höhe in Betracht gezogen, jedoch gegenüber der gewählten Anordnung nach Fig. 4 als zu theuer erkannt.

Die Verankerung folcher Wände, welche mit den Balken parallel laufen, alfo der fog. Giebelwände, kann durch die Balkenlage nur in viel mangelhafterer Weife erfolgen, als die derjenigen Wände, welche die Balkenköpfe aufnehmen, da der Widerftand der Balkenlage in diefem Sinne lediglich von dem geringen feitlichen Biegungswiderftande der Balken abhängt. Man foll daher folche Wände in der Regel fo ausbilden, dafs fie ohne Verankerung ficher ftehen, daher namentlich den letzten Träger der Balkenlage nicht in, fondern vor die Wand legen.

Fig. 7.

Wird gleichwohl in einzelnen Fällen eine folche Verankerung nöthig, fo foll man dazu nicht blofs den letzten, fondern wenigftens zwei, wenn möglich drei Balken nutzbar machen, indem man nach Fig. 7 zwei fchwache Wechfel in kurzem Abftande von einander einzieht und in deren Mitte den Anker — hier Rundeifen — durch die Balken und die Wand führt. Dabei mufs der letzte Balken feft gegen die Wand abgekeilt fein, was übrigens auch wegen des fpäter zu befprechenden dichten Anfchluffes der Balkenlage an die Wand nöthig ift.

Wefentlich wird diefe Art der Verankerung durch folche Fufsböden und Deckenausbildungen unterftützt, welche eine auf Zug widerftandsfähige Verbindung zwifchen den Balken herftellen, alfo namentlich bei Bretterfufsböden und bei der Deckenfchalung, da durch folche der feitliche Biegungswiderftand aller Balken für die Verankerung nutzbar gemacht wird.

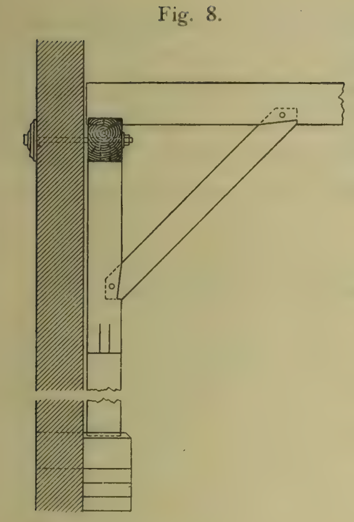
Bei eifernen Balken ändert fich die Anordnung gegen Fig. 7 in nichts Wefentlichem.

Ift nun die Tragfähigkeit der Mauern fo gering, dafs fie auch die Lagerung auf Vorkragungen nicht ertragen, fo mufs man vor ihnen ein Traggerüft aus hölzernen Stielen mit hölzernen Balken, oder eifernen Stützen mit Eifenträgern aufftellen. Letztere werden ganz nach dem in Theil III, Band 1 (S. 184 u. ff.[10]) diefes »Handbuches« über Freiftützen in Eifen Gefagten behandelt, indem man fie bis auf die unmittelbar auf dem Baugrunde vorzunehmende Gründung hinabführt; erftere ftellt man dagegen gern auf einen fteinernen Sockel mit Deckquader, um

[9]) Nach: Wochfchr. d. öft. Ing.- u. Arch.-Ver. 1887, S. 361.

[10]) 2. Aufl.: S. 199 u. ff.

Fig. 8.



das untere Ende über dem Erdboden trocken und unter guter Auffricht zu halten (Fig. 8). Dabei werden die Stiele gegen den darüber liegenden Längsträger, und — wenn ein Balken über dem Stiele liegt — auch gegen diefen durch Kopfbänder verfpreizt. Das untere Stielende wird in den Quader etwas eingelaffen oder ftumpf aufgefetzt und mittels Dollen unverfchieblich gemacht; diefe Vorkehrungen find jedoch bedenklich, wenn Näffe den Stiel erreichen kann. Es ift zweckmäfsig, zwifchen die Hirnfläche des Stieles und den Quader eine 1,5 mm dicke, an Gröfse dem Stielquerfchnitte entfprechende Bleiplatte einzulegen, welche den Druck auch bei geringen Unebenheiten der Aufftandsflächen gleichförmig vertheilt und zugleich einigen Schutz gegen Feuchtigkeit gewährt.

3. Fachwerkwände.

Bei Wänden aus Holz-Fachwerk erfolgt, wie dies fchon in Theil III, Band 2, Heft 1 (Abth. III, Abfchn. 1, A, Kap. 6: Wände aus Holz und Stein [Holz-Fachwerkbau], insbefondere unter a [Holzgerippe]) ausgeführt worden ift, die Lagerung der Balken zwifchen dem Rahmen des unteren und der Schwelle des oberen Gefchoffes, fo dafs alfo die Balkenlage die Wände zweier auf einander folgender Gefchoffe trennt. Die Balken werden dabei mit Rahmen und Schwelle haken-, kreuz- oder fchwalbenfchwanzförmig verkämmt, um als Anker für die Wände dienen zu können. Zu beachten ift übrigens nur die Regel, dafs die Balken nicht weit von den Stielen des Fachwerkes entfernt liegen follen, woraus folgt, dafs die Stieltheilung der Balkentheilung thunlichft entfprechen follte. Ueber die Anordnungen, welche zur Verftärkung der Rahmen zu treffen find, wenn aus irgend welchen Gründen die Balken nicht über die Stiele gelegt werden können, vergleiche die oben angezogene Stelle.

b) Unterftützung durch Freiftützen.

4. Freie Mittelftützen.

In der Regel wird man die Balken einer Decke fo legen, dafs fie die kleinere Abmeffung des zu deckenden Innenraumes frei überfpannen. Wird diefe aber zu grofs, um noch mit den zweckmäfsig zu verwendenden Balkenmafsen überdeckt werden zu können, fo mufs man für die Balken noch Mittelunterftützungen anordnen.

Solche Mittelunterftützungen der Balken werden letztere in der Regel rechtwinkelig kreuzen. Da die Balken aber nach der kleineren Raumabmeffung gelegt waren, fo werden diefe Unterftützungen nunmehr die gröfsere Weite zu überfpannen und die grofsen von den Balken gefammelten Laften zu tragen haben. Für diefe unterftützenden Träger, welche, je nachdem fie die Balken durch Anhängen oder Auflagern aufnehmen, bezw. Ueberzüge oder Unterzüge heifsen, wird man fonach ganz befonders grofser Tragfähigkeit bedürfen; man wird daher häufig in die Lage kommen, die Ueberzüge und Unterzüge in gewiffen Abftänden ihrerfeits wieder durch andere Conftructionstheile unterftützen zu müffen.

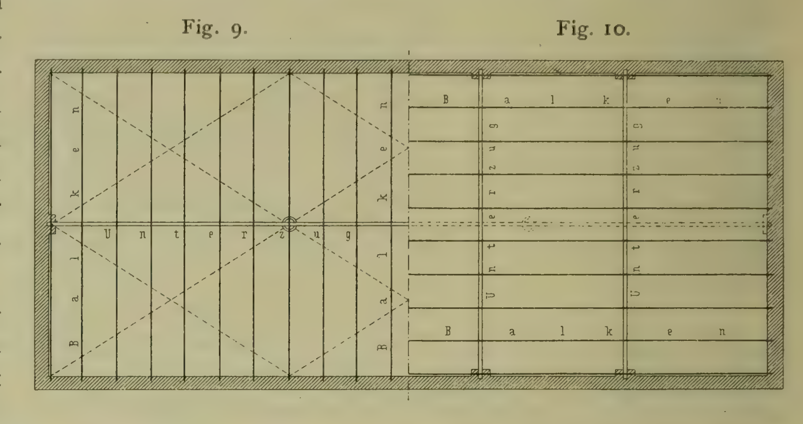
Diefe Unterftützung der Ueber- und Unterzüge erfolgt auf zweierlei Weife, entweder:

1) Von oben, durch Anhängen an den Dachftuhl; diefe Unterftützungsart kann in der Regel nur in der Dachbalkenlage erfolgen und wird im nächften Hefte

(Abth. III, Abſchn. 2, unter E: Dachſtuhl-Conſtructionen) dieſes »Handbuches« behandelt werden; ſie läſſt den Innenraum vollkommen frei.

2) Von unten durch Auflagerung auf geſondert gegründete Freiſtützen, deren eiſerne Säulen oder hölzerne Stiele die völlig ungeſtörte Benutzung der Räume bis zu gewiſſem Grade beeinträchtigen. Ein einfaches Tragwerk dieſer Art zeigt Fig. 9. Der ganze Raum iſt dabei nur durch zwei Freiſtützen und den unter der Decke ſichtbaren Längsunterzug geſtört, enthält auſserdem vielleicht an den kurzen Seiten zwei Wandvorlagen zur Aufnahme der Endauflager des Unterzuges.

Fig. 9. Fig. 10.



Iſt das Aufſtellen von Freiſtützen in den Räumen nicht zuläſſig, auch das Anhängen an das Dach unmöglich, ſo bleibt als letzte Anordnung der Unterſtützung die Spannung einer gröſseren Zahl von Unterzügen nach der kurzen Raumabmeſſung in ſolcher Theilung übrig, daſs die Balken nunmehr der Länge des Raumes nach von Unterzug zu Unterzug geſtreckt werden können, wie in Fig. 10. Dieſe Anordnung zeigt auch das durch Fig. 598 bis 602 (S. 221 bis 226) in Theil III, Bd. 1 (Art. 319[11]) veranſchaulichte Beiſpiel 2.

Die Unterzüge werden als Balken oder gegliedert aus Holz oder Eiſen nach denjenigen Regeln ausgebildet, welche bezüglich der »Träger« in Theil III, Bd. 1 (Abth. I, Abſchn. 2, Kap. 3 u. Abſchn. 3, Kap. 7) dieſes »Handbuches« gegeben ſind.

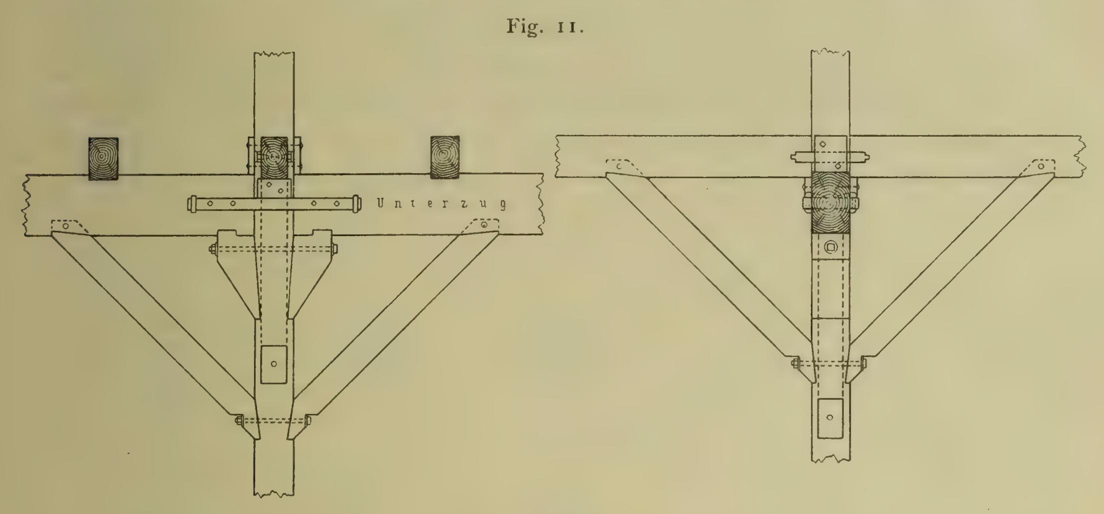
Die Unterzüge können auf die Freiſtützen in gewöhnlicher Weiſe im Schwerpunkte des Stützenquerſchnittes aufgelagert werden, wenn die Stützen nur durch ein Geſchoſs reichen. Müſſen ſie durch mehrere Geſchoſſe durchgeführt werden, ſo iſt es für Eiſen-Conſtructionen in der Regel, für Holzbauten ſtets unzuläſſig, Unterzug und Balken oder einen von beiden auf die untere Stütze zu lagern und dann die obere Stütze auf die Träger zu ſetzen, da hierdurch die Laſtübertragung in den Stützen verſchlechtert und die Steifigkeit der oft ſehr hohen Anordnung gegen ſeitliche Verdrückungen weſentlich beeinträchtigt wird. Bei Holz iſt dieſe Unterbrechung der Stützen beſonders gefährlich, weil hier durch das Einlegen von Querholz in das Langholz der Freiſtützen erhebliche Sackmaſse entſtehen. Hätte z. B. ein Lagerhaus 5 Obergeſchoſſe und in jedem derſelben Unterzüge von 32 cm und Balken von 25 cm Höhe, welche die Freiſtützen unterbrechen, ſo befänden ſich in der Stützung des Fuſsbodens des oberſten Geſchoſſes $5 (32 + 25) = 285$ cm Querholz; nimmt man nun an, daſs das Querholz ſeine Höhe durch Eintrocknen und Zuſammendrücken durch die Freiſtützenbelaſtung auch nur um 3 Procent verringert, ſo entſtände im oberſten Geſchoſs ſchon ein Sackmaſs von $3 \frac{285}{100} = 8{,}55$ cm, welches den Boden dieſes Geſchoſſes ernſtlich gefährden würde.

[11]) 2. Aufl.: Art. 329 u. Fig. 616 bis 620 (S. 253 bis 259).

Beifpiele der Unterftützung von Unterzügen und Balken mittels hölzerner Freiftützen zeigen Fig. 11 bis 15. In Fig. 11 ift der Unterzug aus einem ftarken Balken, nöthigenfalls verzahnt oder verdübelt, gebildet, welcher mitten vor die durchgehende hölzerne Freiftütze trifft, die man wohl auch Stiel, Pfoften oder Ständer nennt. Der Unterzug muffte daher, um den Stiel nicht durch Zapfen zu

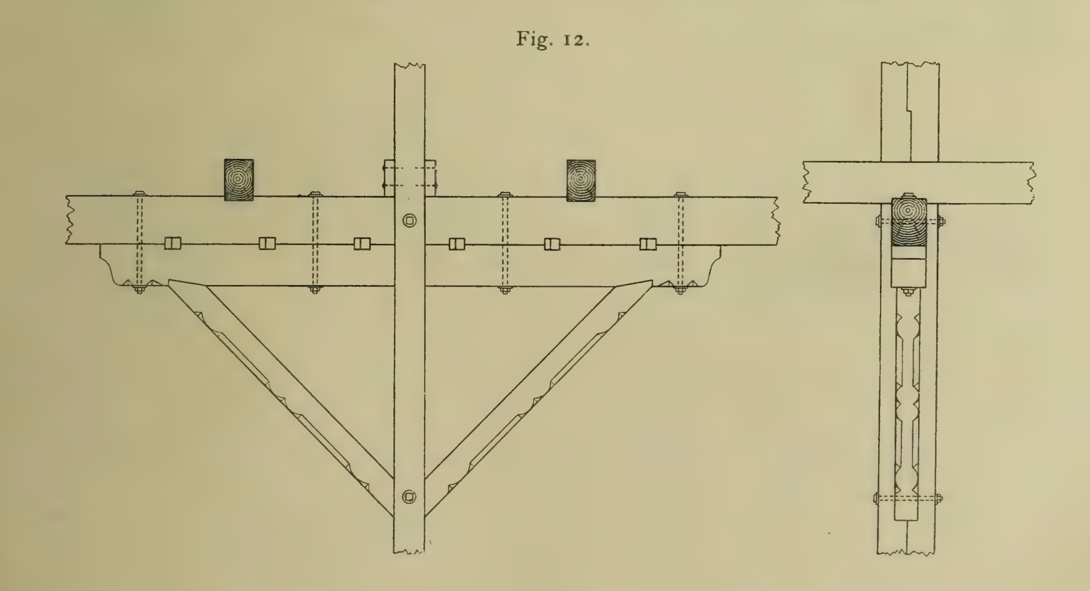
5.
Hölzerne
Freiftützen.

Fig. 11.



fchwächen, mittels angebolzter, verfatzter Knaggen unterftützt werden. Um jedoch nicht die Sicherheit der Lager dem einen Knaggenbolzen allein anzuvertrauen, find die Enden der Unterzugftücke noch durch zwei mit Krampen befeftigte Flachfchienen verbunden. Aufserdem find zwei Kopfbänder zur Verfteifung des Stieles eingefetzt, welche im Stiele aber blofs Verfatzung, keine Zapfen erhalten. Wie der Unterzug von der einen, ftöfst von der anderen Seite ein Balken mitten auf den Stiel, welcher gegen diefen mittels zweier Kopfbänder und angenagelter Bohlenftücke abgeftützt ift; die beiden Balkenenden find durch zwei Eifenklammern verbunden. In Balkenhöhe find noch zwei Bohlenftücke an den Stiel genagelt, um die Fufsbodenbretter lagern zu können. Obwohl der Stiel hier ungefchwächt durch-

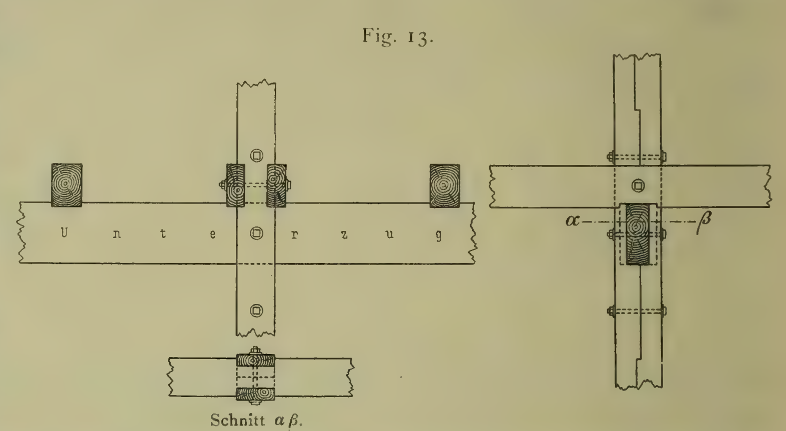
Fig. 12.



geht, ift die Anordnung doch eine mangelhafte, weil das Durchfchneiden fowohl des Unterzuges, wie des Balkens die wirkfame Verankerung der Stiele und Wände wefentlich beeinträchtigt. Das Durchfchneiden des Unterzuges hat aufserdem die Folge, dafs die Ausnutzung der Vortheile unmöglich wird, welche durch Anordnung überkragender Gelenkträger erreicht werden können.

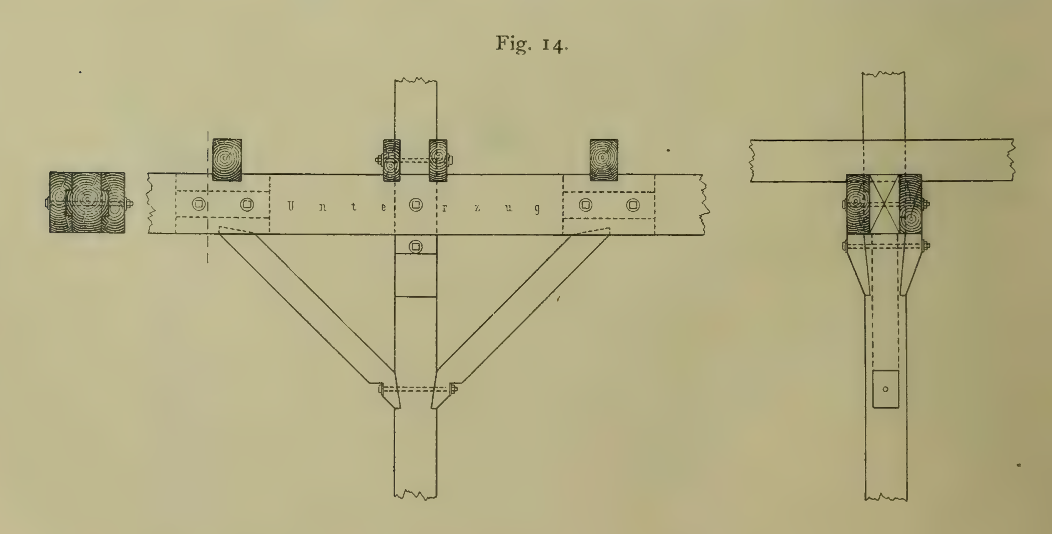
Auch in Fig. 12 ift der Unterzug einfach; um ihn nicht durchfchneiden zu müffen, ift der Stiel doppelt (verfchränkt) angeordnet. Unterzug und Sattelholz liegen in einer Durchbrechung des Doppelftieles, deffen Seitentheile gleichwohl unmittelbare Laftübertragung von oben nach unten ermöglichen. Das Zufammentreffen von Balken und Stiel ift dadurch vermieden, dafs der Stiel in die Mitte einer Balkentheilung geftellt wurde. Die Enden der auf den Stiel ftofsenden Fufsbodenbretter werden durch angenagelte Bohlenftücke unterftützt.

Fig. 13.



Eben fo ift in Fig. 13 der Stiel doppelt mit Verfchränkung angeordnet; er nimmt den Unterzug, welcher in der Ueberkreuzung von beiden Seiten ausgefchnitten ift, in einer Durchbrechung auf, fo dafs diefer, wenn auch gefchwächt, durchläuft. Auch der den Stiel treffende Balken ift in diefem Falle nicht durchfchnitten; er ift vielmehr doppelt angeordnet, umfafft mittels Ausfchneidungen den Stiel von beiden Seiten und geftattet zugleich die Lagerung der Bretterenden am Stiele; der Stiel ift nun offenbar nach allen Seiten wirkfam verankert. In Folge der günftigeren Lagerung aller Theile ift von der Anbringung von Kopfbändern abgefehen. Mängel diefer Anordnung find die rechteckige Stielform, welche mit Rückficht auf Zerknicken dem Quadrate gegenüber einen Mehraufwand erfordert, und die Schwächung

Fig. 14.



des Unterzuges in der Stütze, der Stelle eines ſeiner gröſsten Biegungsmomente, wenn er continuirlich oder überkragend angeordnet iſt.

Weſentlich kräftiger kann man den Unterzug für ſchwere Decken ausbilden, wenn man ſowohl ihn, als auch den Balken doppelt anordnet (Fig. 14). Er iſt in eine flache Ausklinkung des Stieles gelegt, im Uebrigen durch angebolzte Knaggen

Fig. 15.

Stützung der Decken in den Speichern des Freihafen-Gebietes zu Bremen.

ca. 1/70 n. Gr.

unterſtützt und ſomit über der Stütze ganz ungeſchwächt. Die beiden Balkenhälften umfaſſen den Stiel auch hier beiderſeits mit Ausſchneidungen; zur Abſteifung ſind zwiſchen Stiel und Unterzug wieder Kopfbänder eingefügt, welche unten auf den Stiel treffen, oben aber in den Zwiſchenraum des doppelten Unterzuges. Um hier Verſatzung anordnen zu können, wurde zwiſchen die beiden Unterzugshölzer ein Klotz eingefügt, welcher nach Fig. 13 (Querſchnitt) beiderſeits mit Ohren in die Hölzer eingreift, um in lothrechtem, wie wagrechtem Sinne unter dem Drucke des Kopfbandes gegen Verſchiebung geſichert zu ſein.

Von den vorgeführten vier Anordnungen in Holz (Fig. 11 bis 14) entſpricht die letzte den zu ſtellenden Anforderungen am beſten.

Fig. 15 zeigt eine Holzſtiel-Durchbildung mit eiſernen Unterzügen aus den Lagerhäuſern des Freihafengebietes in Bremen, welche in äuſserſt geſchickter Weiſe dem fünfgeſchoſſigen Stiele ein ſicheres Gefüge giebt, im Querſchnitte den nach unten zunehmenden Laſten genau angepaſſt iſt und die Kraftübertragung aus den Unterzügen in den Stiel in der Schwerlinie des letzteren faſt vollkommen ſichert. Letztere wichtige Eigenſchaft geht namentlich der Anordnung in Fig. 11 völlig ab; denn eine Laſtabgabe aus dem Unterzuge an den Stiel in deſſen Schwerlinie iſt nur in dem einen Falle denkbar, daſs die Auflagerdrücke der beiden an den Stiel ſtoſsenden Unterzugenden genau gleich ſind.

Bei der Bremer Anordnung in Fig. 15 werden zwar die Stielhölzer durchſchnitten und die Unterzüge zwiſchen dieſelben eingefügt; hier iſt dies aber unbedenklich, weil in jedem Boden mindeſtens einer der feſt mit einander verbolzten Stieltheile ungeſchwächt durchgeht und zur Verſteifung der durchgeſchnittenen dient, weil ferner die eiſernen Unterzüge einer meſsbaren Zuſammendrückung nicht ausgeſetzt ſind. In einer Länge hätte man die Stiele nur unter Ueberwindung groſser Schwierigkeiten aufſtellen können, und die gewählte Anordnung ergiebt eine vorzügliche Stoſsanordnung.

Unten iſt der Stiel, wie jener in Fig. 8, auf einen Mauerpfeiler im Keller geſetzt; es iſt jedoch zunächſt eine in Cement verlegte Eiſenplatte eingelegt, um eine ebene Aufſtandsfläche und gute Druckvertheilung zu erreichen, und eben ſo treten die Stielhölzer in den übrigen Geſchoſſen nicht unmittelbar gegen die Unterzüge, ſondern gegen Eiſenplatten, welche auch hier zur Nutzbarmachung des ganzen Holzquerſchnittes und zur ſicheren Vereinigung der neben einander liegenden Hälften doppelter Unterzüge dienen.

Ein weſentlicher Grund für die Wahl der Eichenholzſtiele war die Feuerſicherheit. Nach Verſuchen der Londoner Feuerwehr kohlt ein Eichenſtiel zwar auſsen an, brennt aber wegen Mangels an Sauerſtoff nicht eigentlich. Iſt er dann durch eine harte Kohlenſchicht geſchützt, ſo bleibt er bei Hitzegraden, bei denen guſs-, ſchweiſs- oder fluſseiſerne Stiele zu Grunde gehen würden, noch ſtundenlang tragfähig [12]).

6.
Guſseiſerne Freiſtützen.

Auch guſseiſerne Freiſtützen können zur Unterſtützung ſowohl hölzerner, wie eiſerner Unterzüge oder Balken verwendet werden. Die allgemeinen Grundſätze ſind hier dieſelben, wie bei Holz-Conſtructionen; vor Allem ſoll auch hier der ungeſchwächte Stützenquerſchnitt thunlichſt ohne Abweichung von der Lothrechten durchgeführt werden. Ganz beſonders iſt vor ſtarker Ausladung belaſteter Kapitelle und Fuſsprofile zu warnen, da ſolche unter der Laſt bereits thatſächlich abgeſchert ſind und ſo Anlaſs zum Einſturze wurden, wobei ſich die Stützentheile, wie die Auszüge eines Fernrohres, in einander ſchoben. Sockelprofile ſollen daher in ſchlanker Ausweitung nur wenig ausladen (Fig. 16). Sind aus äſthetiſchen Rückſichten ſtarke Ausladungen verwendet worden, ſo müſſen dieſelben entweder durch Ummantelung hergeſtellt oder im Inneren durch nach dem Mittelpunkte gerichtete Verſteifungsrippen gegen Bruch geſichert werden (Fig. 17 u. 23). Ausladende

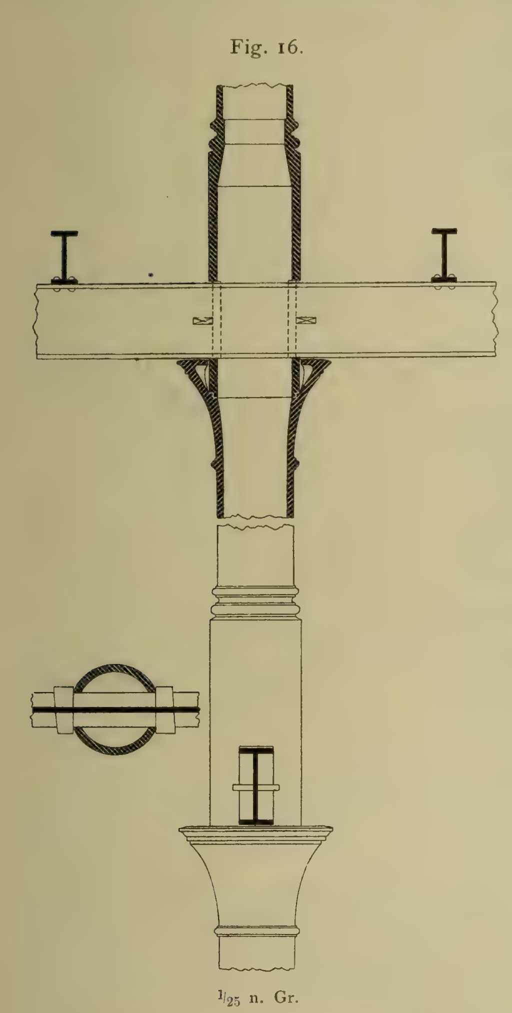
---

12) Siehe auch Theil III, Band 6 (Abth. III, Abſchn. 6, Kap. 1: Sicherungen gegen Feuer) dieſes »Handbuches«.

Kapitelltheile follen niemals die obere Stütze, fondern höchftens die Laft des Unterzuges ihres Gefchoffes aufnehmen. Dies wird dadurch erreicht, dafs man, wie z. B. in Fig. 16, den Schaft des oberen Säulenfufses fo tief in das Kapitell hineinfteckt, dafs er unmittelbar auf den Schaft des unteren Stützentheiles trifft; dabei find geringe, fchlank zu bildende Ausweitungen wegen der Sockelausladung am oberen Theile meift nicht zu vermeiden.

Auf die Mafsregeln zur Sicherung der Gufsftützen gegen Feuersgefahr, Luft- oder Wafferftrom im Inneren, Umhüllung durch feuerfefte Körper etc., welche noch in Theil III, Band 6 (Abth. V, Abfchn. 1, Kap. 1, unter a) diefes »Handbuches« zu befprechen fein werden, möge hier noch hingewiefen werden, fo wie auch auf die Nothwendigkeit der Fürforge für fichere Wafferabführung aus dem Inneren, felbft dann, wenn ein Eindringen von Waffer in die fertige Stütze ausgefchloffen ift. Es ift der Fall vorgekommen [13]), dafs fich die Stützen eines Hohlbaues vor Aufbringen des Daches bei anhaltendem Regen mit Waffer füllten. Der Bau blieb im Winter im Rohbau ftehen, und im Frühjahre fanden fich dann mehrere der Stützen in der Formnaht völlig aufgefprengt. Man fehe daher in allen hohlen Gufsftützen Abzugslöcher für Waffer fo vor, dafs eine Anfammlung deffelben im Inneren überhaupt unmöglich ift.

Fig. 16.



1/25 n. Gr.

Fig. 16 zeigt eine Freiftütze, welche einen einfachen Unterzug und darauf ruhende Balken von I-förmigem Querfchnitt trägt. Es ift hier angenommen, dafs eine Feldmitte der Balkentheilung auf die Stütze trifft, welche fomit nur mit dem Unterzuge in unmittelbarer Berührung fteht. Letzterer ift nun durch ein Loch am Untertheile der oberen Stütze gefteckt und auf der Wandftärke der unteren Lochbegrenzung gelagert; zwifchen dem fcheinbaren Kapitell und dem Unterzuge ift dagegen ein offener Spielraum geblieben (eben fo auch in Fig. 23) und die Laft wird fomit unmittelbar an die Stütze abgegeben. Die Kapitellbildung ift lediglich der Ausfchmückung halber erfolgt und könnte aus Zink oder in ganz fchwachem Guffe hergeftellt fein. Der durchgefteckte Unterzug ift durch beiderfeits vorgefetzte Keile gegen die Stütze unverfchieblich gemacht.

Von befonderer Wichtigkeit ift vollkommener Schlufs der Fuge zwifchen beiden Stützentheilen, welche zur Verhinderung felbft kleiner Verfchiebungen falzförmig geftaltet ift; die Fugenflächen müffen bei guter Ausführung in beiden Theilen abgedreht fein, und dichten Schlufs erreicht man, indem man bei leichten Stützen Blei-, bei fchwereren Kupferringe einlegt.

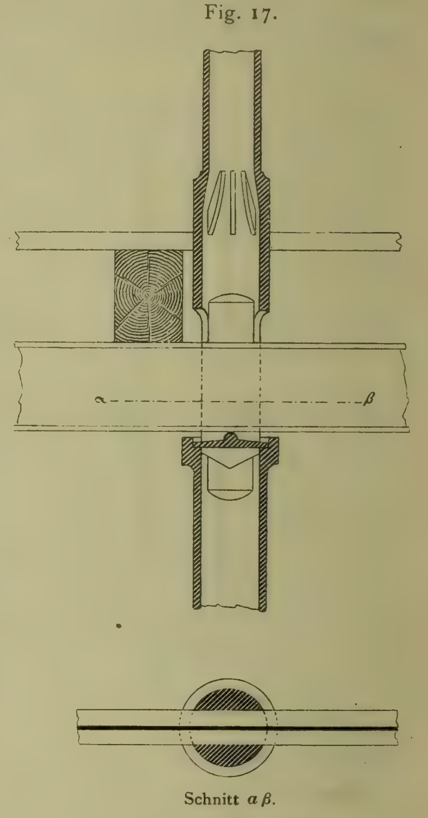
Diefe Conftruction geftattet durchlaufende Anordnung des einfachen Unterzuges,

---

13) Siehe: Deutfche Bauz. 1890, S. 608.

hat aber den für fchwere Stützen fehr erheblichen Mangel, dafs der Stützenquerfchnitt durch den durchgefteckten Träger erheblich gefchwächt wird und dafs bei unvermeidlichen Durchbiegungen des Unterzuges eine excentrifche Belaftung der Stütze auf dem einen oder dem anderen Lagerrande entftehen mufs. Die Balken find auf den Unterzug genietet; der Querfchnitt des letzteren mufs alfo unter Abzug der Nietlöcher berechnet werden. Die Gufsform aller Stützentheile ift, abgefehen von der Kapitellausladung, fehr einfach; in letzterer find Verfteifungsrippen angedeutet, welche jedoch nur zur Ausführung kommen, wenn das Kapitell Laften aufzunehmen hat.

Fig. 17.



Schnitt $\alpha\beta$.

Vom Gafthof »Englifcher Hof« zu Hildesheim. — 1/25 n. Gr.

Die bezüglich der Anordnung in Fig. 16 gerügten Mängel, excentrifche Lagerwirkung des Unterzuges bei Durchbiegungen und Schwächung der Stütze, find in der Ausführungsweife nach Fig. 17 vermieden, bezw. abgefchwächt.

Um die Kantenlagerung des durchgefteckten Unterzuges auf dem unteren Stützentheile bei Durchbiegung zu vermeiden, ift in den Hohlraum des oberen auf den Rand des unteren zunächft eine Schneidenplatte von tragfähigem **T**-Querfchnitte gelegt, welche die Uebertragung des Lagerdruckes vom Unterzuge felbft nach deffen Durchbiegung genau in der Stützenmitte fichert. Die Schwächung des oberen Stützentheiles durch die Oeffnung für den Unterzug ift durch Verdickung des übrig gebliebenen Wandtheiles erfetzt. Damit aber der volle Querfchnitt diefer Verftärkung durch volles Auffetzen der Unterfläche wirklich zur Wirkung gelangt, ift diefelbe Verftärkung auch auf einige Länge im Kopfe des unteren Stützentheiles niedergeführt.

Eine ganz ähnliche Anordnung für fchwerere Stützen mit noch befferem Ausgleiche der Schwächung des oberen Theiles zeigt Fig. 23. Um die Gufsmodelle zu vereinfachen, ift hier für das Durchftecken des Unterzuges ein gefondertes Gufsftück zwifchen die untere und obere Stütze eingefchaltet, welches durch halbkreisförmiges Herumführen der drei Verftärkungsrippen oben völlig gefchloffen ift. Auch unten fchliefst fich das Zwifchenftück wieder zum vollen Ringe, fo dafs es zu einer guten Aufnahme der oberen Stützenlaft oben und zu guter Vertheilung diefer und der Unterzugslaft auf den Ringquerfchnitt unten befähigt erfcheint. Die Trägerplatte mit gewölbtem Schneidenauflager muffte daher hier auf den Unterrand der zum Durchftecken des Unterzuges beftimmten Durchbrechung des Zwifchenftückes gelagert werden.

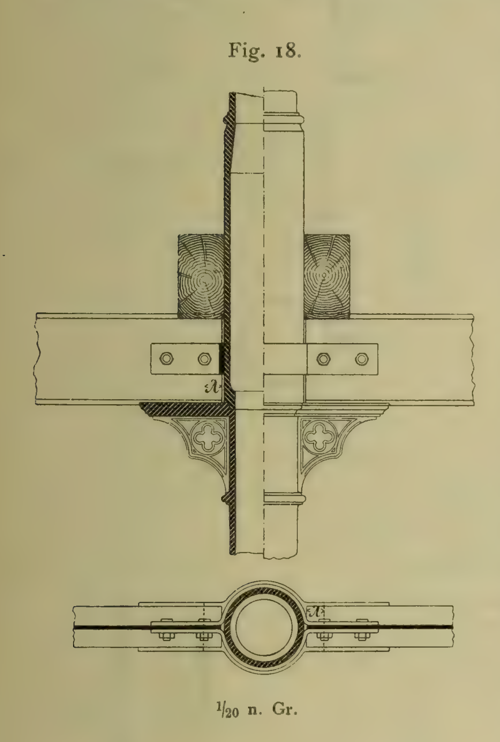
Die Anordnung in Fig. 23 dürfte felbft für die fchwerften Stützen allen Anforderungen genügen, fo lange das Verhältnifs der Unterzugsbreite zum Stützendurchmeffer das Durchftecken des Unterzuges geftattet; doch ift in diefer Beziehung zu betonen, dafs man durch geeignete Formung des Zwifchenftückes auch das

Durchſtecken von Unterzügen ermöglichen kann, deren Breite verhältnifsmäfsig gröfser iſt, als in Fig. 23.

Auch wenn der Unterzug auf der Stütze durchſchnitten ſein ſoll, ſtatt durchzulaufen, kann man die Anordnung in Fig. 23 mit Vortheil verwenden, da die Lagerung der beiden, ſchwach in der Höhenmitte zu verlaſchenden Enden eines durchſchnittenen Unterzuges auf die flach gewölbten Schneidenplatten eben ſowohl möglich iſt, wie die eines ununterbrochen durchlaufenden Trägers.

Die Schwächung der Stütze iſt in Fig. 18 vermieden, wo in Folge deſſen aber der Unterzug nicht durchlaufen kann, ſondern von beiden Seiten auf angegoſſene Conſolen gelagert werden muſs; es geht ſo die Möglichkeit verloren, den Unterzug durchlaufen zu laſſen, und auſserdem wird die Stütze in Folge der Lagerung der beiden Unterzugenden excentriſch beanſprucht, wenn der eine Unterzug ſchwerer belaſtet iſt, als der andere (wie in Fig. 11). Die Längsverbindung iſt mittels um die Säule gelegter Flachlaſchen hergeſtellt.

Fig. 18.



1/20 n. Gr.

Die Conſolen ſind in dem durch Fig. 18 dargeſtellten Falle angegoſſen, werden aber zur Vermeidung der ſchwierigen Guſsform häufig geſondert hergeſtellt und angeſchraubt. Damit die Laſtübertragung weit von der Stützenmitte erfolgen kann, ſollen die Conſolen ſo kurz ſein (Länge λ in Fig. 18), wie die erforderliche Lagerfläche des Trägers geſtattet. Werden die Conſolen aus äſthetiſchen Rückſichten länger gemacht, ſo empfiehlt es ſich, die eigentliche Lagerfläche dicht an der Säule erhöht herzuſtellen, damit die äuſseren Conſolentheile der Laſt ſicher entzogen werden (in Fig. 18 nur bei genauer Betrachtung zu erkennen). Um ſeitliche Verſchiebungen zu verhüten, iſt auf der Conſolenplatte eine der Unterzugsbreite entſprechende flache Nuth hergeſtellt.

Das Auffetzen der Säulen iſt nach den obigen Regeln auch hier ausgeführt. Der Unterzug trägt hier hölzerne Balken, welche die Stütze in der zweiten Richtung umfaſſen.

Im Weſentlichen übereinſtimmend mit der in Fig. 18 dargeſtellten Anordnung iſt die in Fig. 19 gezeichnete; doch ſind hier einige Verbeſſerungen eingetreten. Die weit ausladenden Conſolen ſind durch kurze, angegoſſene, dem Querſchnitte des durchſchnittenen Unterzuges entſprechende Hülſen erſetzt, welche mittels durchgeſteckter Bolzen zugleich die Verbindung der beiden Unterzugsenden unter einander vermitteln. Nach unten ſind dieſe Hülſen noch durch Rippen abgeſtützt, und dem Auge ſind ſie durch einen Kapitellmantel aus Zinkguſs verdeckt, welcher oberhalb eines angegoſſenen Halsringes umgeſetzt, angeſtiftet und gelöthet wird. Die Ausladung für das Sockelprofil der oberen Stütze iſt auch hier durch eine geringe Ausweitung der Säule gewonnen. Um den Guſs aber trotz dieſer Ausweitung und

den angegoffenen Trägerhülfen möglichft ein-fach zu geftalten, ift zwifchen den Kopf der unteren und den Fufs der oberen Säule eine abgefonderte Trommel mit abgedrehter oberer und unterer Lagerfläche eingefetzt, bei welcher die Ausweitung gar keine, das Anfetzen der Hülfen unerhebliche Schwierigkeiten verurfacht; die Säulen find, abgefehen vom Sockelprofil und Halsband, ganz glatt.

Fig. 19.

Schnitt $\alpha\beta$.

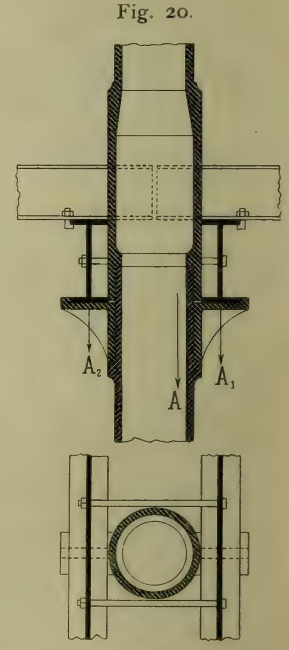
Schnitt $\gamma\delta$.

1/20 n. Gr.

Die eifernen Balken find in Fig. 19 auf den eifernen Unterzug fo aufgelagert, dafs keine Verfchwächung der Flanfche durch Niet- oder Bolzenlöcher entfteht, dafs gleichwohl aber eine Verfchiebung der Balken gegen den Unterzug nach keiner Richtung möglich ift. Es ift dies durch Annieten von entfprechend gebogenen und in einander geklinkten Blechen an die Trägerftege erreicht.

Die Mängel der Anordnungen nach Fig. 18 u. 19, nämlich die Unterbrechung des Unterzuges und die Auflagerung auf Confolen, welche wegen der fchwierigen Kopfform beim Angiefsen nicht immer zuverläffig ausfallen und auch mittels Verfchraubung nicht fehr ficher befeftigt find, wurden nach Fig. 20 [14]) vermieden. Abgefehen von der geringen Sockelausweitung befteht die Säule hier aus einem vollkommen glatten Cylinder, welchem nur nahe dem Kopfe ein ziemlich breiter Wulft angegoffen ift. Diefer nimmt einen die Säule umhüllenden, von oben aufzufchiebenden kurzen Cylinder mit Confolenanfätzen auf; der obere Rand der unteren Säule trägt den Fufs der oberen mittels eines innen angegoffenen Wulftes. Auf den Confolen des umgelegten Cylinders ruht der doppelte Unterzug in entfprechender Nuth, und in diefer find die Lagerflächen nach Art von Fig. 2 (S. 3) etwas gewölbt, damit die Laftübertragung auch bei Durchbiegungen möglichft centrifch bleibt. Da die Confolen hier, ftatt am langen Säulenkörper, an einem kurzen Cylinderftücke angebracht find, ift ihre Herftellung, wie die der Säulen, wefentlich vereinfacht und der Gufs zuverläffiger.

Fig. 20.



Vom Alhambra-Theater in London[14]). — 1/20 n. Gr.

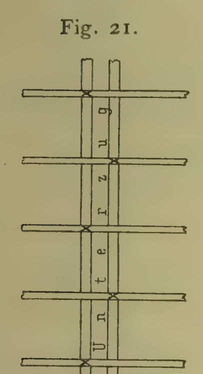
Die in Fig. 20 dargeftellte Anordnung bedingt die Verwendung doppelter Unterzüge. Lagert man die zu tragenden Balken, wie in Fig. 20 angedeutet, ohne Weiteres auf diefe auf, fo ift excentrifche Belaftung der Stütze, wegen der bei ungleicher Belaftung oder Spannweite der Balkentheile ungleichen Auflagerdrücke A_1 und A_2, deren Mittelkraft A im Allgemeinen nicht in der Mitte wirken kann,

[14]) Nach: *Engng.*, Bd. 37 (1884), S. 539.

unvermeidlich. Auch die Verwendung durchlaufender oder überkragender Balken beſeitigt dieſen Uebelſtand nicht, da die Durchbiegungen der Balken auch dann noch verſchiedenartige Belaſtung der beiden Unterzugshälften hervorrufen.

Zwei Verfahren zur Abmilderung, bezw. Beſeitigung dieſes Uebelſtandes doppelter Unterzüge, welcher Anlaſs zu weſentlichen Verſtärkungen der Stützen iſt, geben Fig. 21 u. 22 an.

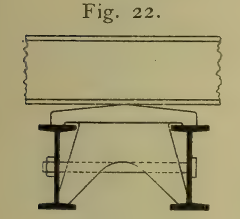
Fig. 21.



In Fig. 21 iſt jeder Balken mittels zwiſchengelegter Platte nach Maſsgabe der eingetragenen Kreuze nur auf einer Hälfte des Unterzuges gelagert. Bei entſprechender Vertheilung der Lager kann hierdurch eine Ausgleichung der Auflagerdrücke A_1 und A_2 bis zu gewiſſem Grade erzielt werden, völlig aber ſchon aus dem Grunde nicht, weil die durch die Art der Lagerung bedingte Verſchiedenheit der Spannweiten zweier benachbarter Balken ſelbſt bei ganz gleichförmiger Belaſtung eine geringe Verſchiedenheit der Belaſtung beider Unterzugshälften hervorrufen muſs.

Wirkſamer iſt das Einfügen von gewölbten Unterlagsplatten zwiſchen Unterzug und Balken nach Fig. 22, welche eine faſt vollkommen gleichmäſsige Laſtvertheilung auf beide Unterzugshälften für alle Verhältniſſe ſichert. Die Platte iſt dabei ſo geformt, daſs die Laſtübertragung gerade über dem Stege der Unterzugträger erfolgt, und die unten angeſetzte Mittelrippe, zugleich eine Verſtärkung der Lagerplatte, eine ſichere Abſpreizung beider Unterzugshälften und eine unmittelbare Belaſtung auch der unteren Gurtungen der Unterzugsträger bewirkt.

Fig. 22.

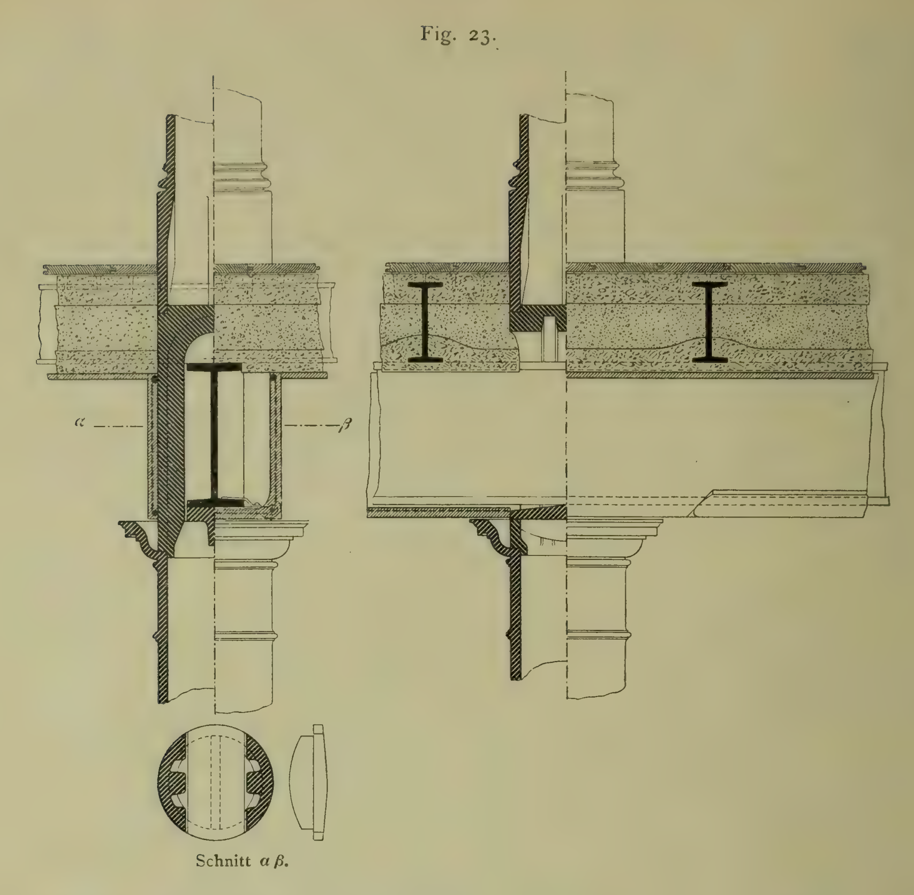


Es leuchtet ein, daſs die beiden Anordnungen in Fig. 21 u. 22 ſowohl für über den Unterzügen durchgeſchnittene, wie auch für durchlaufende Balken verwendbar ſind.

Uebrigens entſpringt die Verwendung doppelter Unterzüge nicht allein der Rückſicht auf möglichſt günſtige Geſtaltung der Auflagerung auf den Stützen; ſie iſt in ſehr vielen Fällen eine Nothwendigkeit, weil die ſchweren, vom Unterzuge aufzunehmenden Einzellaſten bei einfacher Anordnung des letzteren eine übermäſsige Trägerhöhe bedingen würden.

Eine beſonders gute Anordnung für einfache Unterzüge auch ſchwerer Decken zeigt Fig. 23, die oben bereits (zuſammen mit Fig. 17) kurz erwähnt wurde und in welcher nebenher noch einige ſpäter zu erläuternde Theile dargeſtellt ſind. Die Anordnung greift im Weſentlichen auf die in Fig. 16 u. 17 veranſchaulichte zurück. Auch hier iſt der einfache Unterzug durch eine Oeffnung in der Stütze geſteckt; die Mängel, die hierdurch in Fig. 16 entſtanden, ſind aber in Fig. 23 vermieden. Zunächſt befindet ſich die Oeffnung in einem beſonderen Zwiſchenſtücke, deſſen geringe Länge ſchwierigere Guſsform und damit einen Querſchnittserſatz für die durch die Oeffnung fortgenommenen Wandtheile geſtattet. Im Schnitte $\alpha\beta$ ſind die drei Innenrippen zu erkennen, welche dieſen Erſatz bieten und, nach den beiden Längenſchnitten oben halbkreisförmig geſchloſſen, zugleich eine Brücke bilden, durch welche die über der Oeffnung wirkenden Laſttheile der oberen Stütze nach den verſtärkten Seitentheilen hin übertragen werden. Der Unterzug lagert nun nicht, wie in Fig. 16, auf den unteren Rändern der Oeffnung; zu ſeiner Auflagerung iſt vielmehr eine beſonders dargeſtellte, oben gewölbte, unten durch eine Rippe verſtärkte Auflagerplatte in die Oeffnung eingelegt, welche ſelbſt bei

Fig. 23.



Schnitt *αβ*.

ganz excentrifcher Belaftung des Unterzuges den Auflagerdruck praktifch genau in der Stützenmitte aufnimmt und gleichmäfsig auf den unteren Rand der Oeffnung überträgt. Da der einfache Unterzug von den Balken in feiner Querrichtung nicht merklich excentrifch belaftet werden kann, fo ift hier jede excentrifche Belaftung der Stütze ausgefchloffen, ohne dafs man der unbequemen und theueren Auflagervorkehrungen in Fig. 21 u. 22 zwifchen Balken und Unterzug bedürfte.

Die Sockelausladung der oberen Stütze ift hier durch Einziehen des Stützendurchmeffers gewonnen, was mit Rückficht auf die nach oben hin abnehmende Belaftung ftets möglich fein wird.

7.
Schmiedeeiferne Freiftützen.

In neuerer Zeit kommen, wie bereits in Theil III, Band 1 (Art. 277, S. 184 [15]) diefes »Handbuches« gefagt worden ift, fchmiedeeiferne Freiftützen [16]) häufiger zur Verwendung, namentlich wenn die Unterzüge genietete Träger find. Bei der grofsen Länge, in welcher die fchwächeren Eifenprofile ausgewalzt werden, kann man diefe Stützen durch viele Gefchoffe ohne Stofs hinaufreichen laffen; da jedoch hierbei eine der von oben nach unten zunehmenden Laft Rechnung tragende Querfchnittsänderung nicht möglich ift, fo hat man meift die Zufammenfetzung aus einzelnen Theilen mittels ftarker Verlafchungen in den Schlitzen der Querfchnitte vorgezogen [17]). (Vergl.

---

15) 2. Aufl.: Art. 285, S. 208.

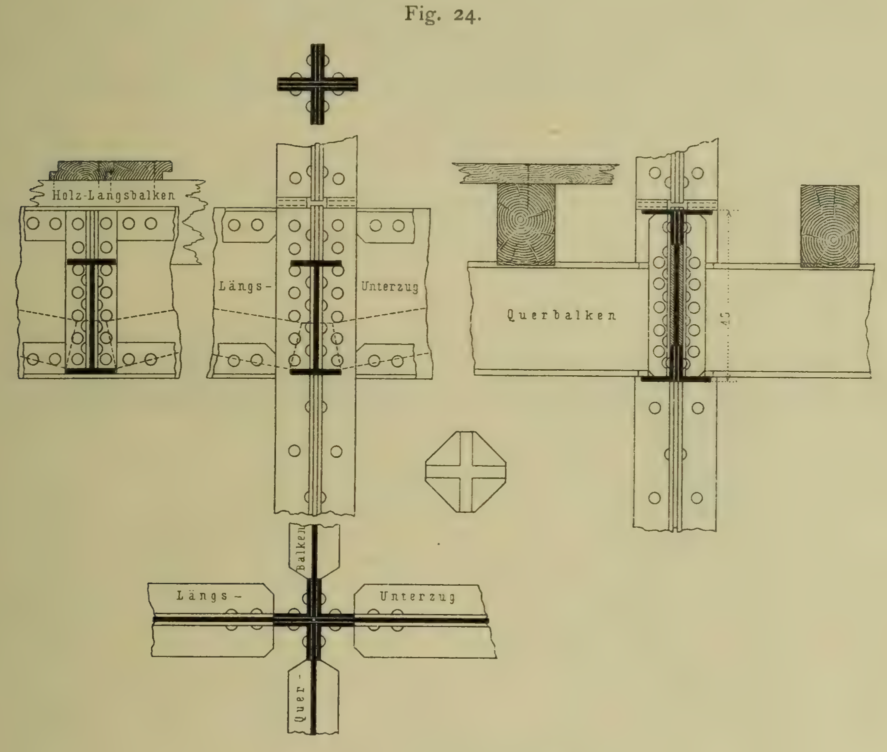
16) Ueber das Verhalten beider Eifenarten im Feuer und die Feuerficherheit eiferner Freiftützen fiehe Theil III, Band 6 (Abth. V, Abfchn. 1, Kap. 1, a: Feuerficherheit der wichtigeren Bauftoffe und Bauconftructionen), eben fo Theil I, Band 1, zweite Hälfte, 2. Aufl. (S. 123, Art. 145: Tragfähigkeit der Stützen bei erhöhter Temperatur) diefes »Handbuches«.

17) Ueber Gebäude mit folchen Stützen von mehr als 20 Gefchoffen fiehe: *Engng. news* 1892, S. 2, 3, 41, 42.

z. B. Fig .456 bis 459, S. 166[18]) in Theil III, Band 1 diefes »Handbuches«.) Diefe hohen Stützen find aber bei der Aufftellung fehr unbequem, ein Umftand, der dazu geführt hat, die Stützen für jedes Gefchofs für fich herzuftellen, die Endflächen abzuhobeln und zwifchen diefe gleichfalls durch Hobeln dem Stützenquerfchnitte entfprechend ausgenuthete Druckplatten einzulegen (Fig. 24).

Die fchmiedeeifernen Stützenquerfchnitte haben gröfstentheils (mit Ausnahme der z. B. durch Fig. 543, 545 u. 546, S. 191[19]) die im eben genannten Bande diefes »Handbuches« dargeftellten Schlitze, in welchen Anfchlüffe erfolgen können. In der Stütze felbft füllen in der Regel Blechftreifen diefe Schlitze, die aber in den Anfchlüffen, als nur wegen des Widerftandes gegen Zerknicken zugegeben, wegfallen

Fig. 24.



Vom neuen Packhof zu Berlin.
1/20 n. Gr.

können. Die Möglichkeit des Anfchluffes von vier Seiten läfft nun alle die Schwierigkeiten verfchwinden, welche bei der Auflagerung einfacher Unterzüge und Balken auf gufseiferne und hölzerne Freiftützen entftanden; nur ftöfst auch hier die Anordnung durchlaufender oder überkragender Träger bei manchen Querfchnitten auf Schwierigkeiten, fo z. B. bei den im letztgenannten Bande auf S. 191 in Fig. 542, 545 bis 550 u. 552 bis 554[20]) dargeftellten Querfchnittsformen. Auch wird durch zwei mit den Enden in einen Stützenfchlitz gefteckte Unterzugtheile, z. B. a. a. O. bei Fig. 544 (S. 191[21]) eine excentrifche Belaftung der Stütze erzeugt werden können,

[18]) 2. Aufl.: Fig. 467 bis 470, S. 180.
[19]) 2. Aufl.: Fig. 556, 558 u. 559, S. 213.
[20]) 2. Aufl.: S. 213 u. 214, Fig. 555, 558 bis 563 u. 565 bis 568.
[21]) 2. Aufl.: Fig. 557, S. 213.

wenn der eine anſchlieſsende Unterzugtheil andere Belaſtung oder Spannweite beſitzt, als der andere.

Fig. 24 zeigt eine derartige Deckenträger-Ausbildung [22]), deren Geſammtanlage aus Fig. 10 (S. 8) hervorgeht, wenn man dort den geſtrichelten Mittelträger als vorhanden anſieht.

An die ┼ -förmigen Stützen ſchlieſst ſich entlang der Mitte des Gebäudes ein genieteter Längsunterzug von 45 cm Höhe; an dieſem, bezw. an der dritten und vierten Seite der Stützen ſind dann die mit den anderen Enden auf die Mauern gelagerten Querbalken in Form von **I**-Trägern befeſtigt; dieſe tragen ſchlieſslich die hölzernen Längsbalken und auf dem unteren Flanſch noch ſteinerne Kappen nach Maſsgabe des in den folgenden Kapiteln zu Erläuternden. Auf den Holzbalken liegt geſpundeter Bretterfuſsboden. Die Längen der Stützen für die verſchiedenen Geſchoſſe ſind völlig von einander getrennt; die abgehobelten Kopfenden nehmen ihrem Querſchnitte entſprechend ausgehobelte Blechplatten (Fig. 24) zwiſchen ſich auf, in deren Nuthen volle Berührung durch Einlegen von Kupferſtreifen geſichert wird. Das Aufſtellen iſt durch die Theilung in Stücke von Geſchoſshöhe weſentlich erleichtert, da jedes Geſchoſs für ſich erſt vollſtändig fertig gemacht werden konnte, ehe man die Stützen des folgenden aufſtellte; zugleich iſt jede beliebige Querſchnittsänderung in den verſchiedenen Geſchoſſen ermöglicht.

Fig. 25.

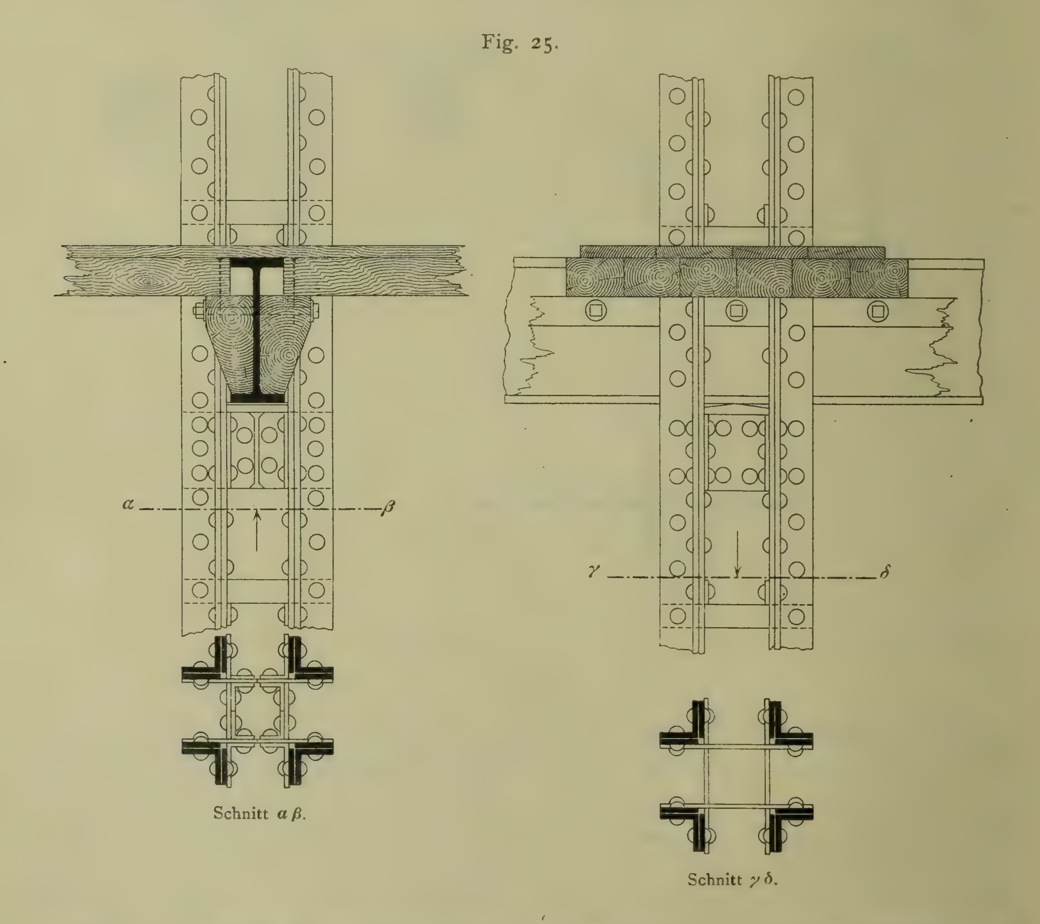
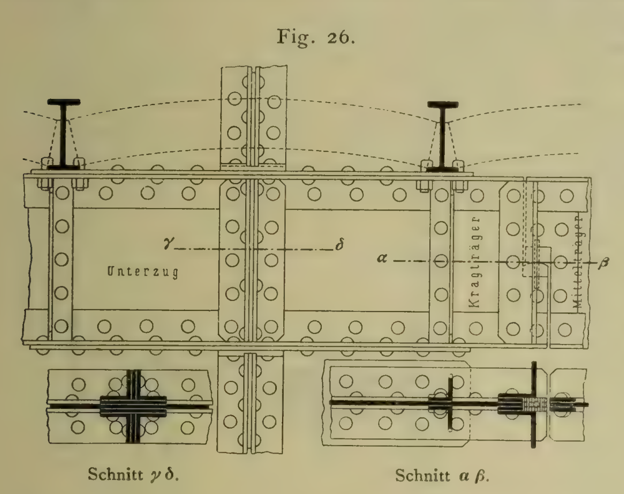


Fig. 25, welche den Grundgedanken der Stützung im Brockthor-Speicher zu Hamburg darſtellt, bewahrt die Möglichkeit der ununterbrochenen Durchführung der Unterzüge, indem der verwendete offene Kreuzquerſchnitt Gelegenheit zum Durchſtecken der letzteren giebt.

22) Nach: Centralbl. d. Bauverw. 1884, S. 375.

Fig. 25 zeigt eine durch eingefetzte Stützwinkel und darauf ruhende abgerundete Lagerplatte hergeftellte Lagerung der Unterzüge, welche ähnlich den Anordnungen in Fig. 17 und 23 genaue centrifche Laftübertragung ftets fichert. Veränderung des Querfchnittes ift durch Einlegen von Verftärkungsplatten ermöglicht; auch können die L-Eifen felbft leicht abgeändert werden, wenn man den ftumpfen Stofs in Fig. 24 mit eingelegter Druckplatte auch hier durchführt. Die Verbindung der vier Querfchnittstheile ift nur durch eingenietete wagrechte Flachbänder hergeftellt; die zuläffige Theilung diefer Verbindungen folgt mit $\frac{\lambda}{2}$ aus der Gleichung 155 in Theil III, Band 1 (S. 188 [23]) diefes »Handbuches«.

Fig. 26.



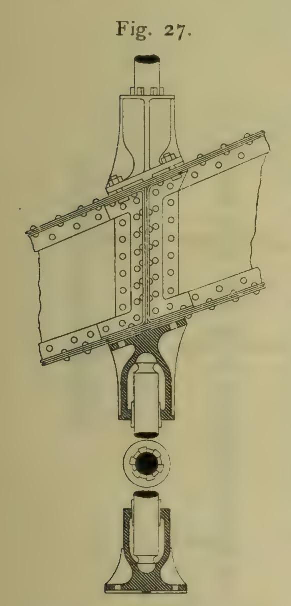
Schnitt γδ. Schnitt αβ.

Selbftverftändlich kann man in gleicher Weife und mit gleichem Erfolge auch die Enden in der Stützenmitte durchgefchnittener Unterzüge lagern.

Es ift jedoch nicht ausgefchloffen, die Unterzüge, bezw. Balken auch dann in den Lagern auf den Stützen ununterbrochen durchlaufen zu laffen, wenn der Stützenquerfchnitt die für den Träger erforderliche Lücke nicht befitzt.

Das erfte Mittel hierzu bildet die in allen Fällen mögliche Anordnung von Doppelträgern, wie in Fig. 20, welche auf in die Schlitze des Stützenquerfchnittes eingenietete, um die Trägerbreite vorkragende Knotenbleche mit Randwinkeleifen gelagert werden. In diefer Weife find die Stützanordnungen des neuen Hafenfpeichers zu Frankfurt a. M. [24]) angeordnet. Hierbei find die oben zu Fig. 20, 21 u. 22 erläuterten Mafsregeln gegen excentrifchen Laftangriff zu treffen.

Fig. 27.



Von *Terry*'s Theater am *Strand* zu London.
1/30 n. Gr.

Ein zweites, in Fig. 26 dargeftelltes Mittel befteht darin, dafs man den entfprechend verfteiften Unterzugträger als Theil der Stütze felbft in diefe einfchaltet.

Die ausgehobelten Druckplatten in Fig. 26 find hier auf die obere Gurtung und unter die untere Gurtung des Unterzuges genietet, deffen Wand an der betreffenden Stelle durch dem Stützenquerfchnitte entfprechende L-Eifen und Platten (Fig. 26, Schnitt γδ) ausgefteift ift. Die aus I-Eifen gebildeten Balken liegen auf dem Unterzuge und find mit Hakenfchrauben befeftigt, welche weder den Balken noch den Unterzug fchwächen, da fie in Nietlöcher der oberen Gurtung des letzteren eingefügt werden können. Die in Fig. 26, Schnitt αβ gezeichnete Gelenkanordnung wird fpäter näher erläutert werden. Der Unterzug ift auch unter jedem Balken für die Laftaufnahme durch zwei L-Eifen ausgefteift. Die Balken tragen die eigentliche Decke hier (geftrichelt angedeutet) in Form einer Auswölbung.

In ähnlicher Weife find die Kragträger der Ränge in *Terry*'s Theater am *Strand* zu London durch die Stützen durchgeführt [25]). Diefe eigenthümliche, in mehreren Beziehungen beachtenswerthe Anordnung ift in Fig. 27 dargeftellt.

23) 2. Aufl.: Gleichung 183, S. 201.

24) Siehe hierüber: Centralbl. d. Bauverw. 1886, S. 112. — Wochbl. f. Baukde. 1886, S. 108. — Prakt. Mafch.-Conftr. 1888, S. 1, 49.

25) Siehe: *Engineer*, Bd. 44 (1887), S. 283.

Zunächſt ſind die Stützen ſelbſt, behufs thunlichſter Erſparung an Raum, mit vollem Kreisquerſchnitte aus Schmiedeeiſen gebildet; die Wahl des unvortheilhaften ganz vollen Querſchnittes iſt wohl aus der Schwierigkeit der Herſtellung enger Schmiedeeiſenrohre zu erklären[26]. Jeder Stützentheil endigt in einer abgedrehten Halbkugel, welche, in die Halbkugelſchalen der oberen und unteren Guſslager geſetzt, eine gelenkartige Wirkung und genau centriſche Laſtübertragung auf die Stütze ſichert. Die Wirkſamkeit der Gelenke iſt jedoch nur während der Errichtung des Gebäudes ausgenutzt, um durch ſie kleine Ungenauigkeiten auszugleichen. Nach Fertigſtellung des Bauwerkes wurden zwiſchen die Stütze und den Rand der die Stütze topfartig umfaſſenden Lagerplatten je 6 Keile eingeſetzt, um weitere Bewegungen auszuſchlieſsen. Die Rangträger durchſchneiden die Stützen behufs Ausbildung der Treppenform der Sitzreihen in geneigter Lage. Die Grundplatten ſind daher entſprechend ſchief an die Lagertöpfe gegoſſen und tragen auf der Lagerfläche am Träger eine Kreuzrippe, welche, zwiſchen vier auf die Kopf- und Fuſsplatten des Trägers genietete Blechabſchnitte greifend, völlige Unverſchieblichkeit ohne Beanſpruchung der Befeſtigungsbolzen ſichert. Zwiſchen je zwei Stützenlagern iſt der Träger auch hier durch aufgenietete Platten und **L**-Eiſen wirkſam verſteift.

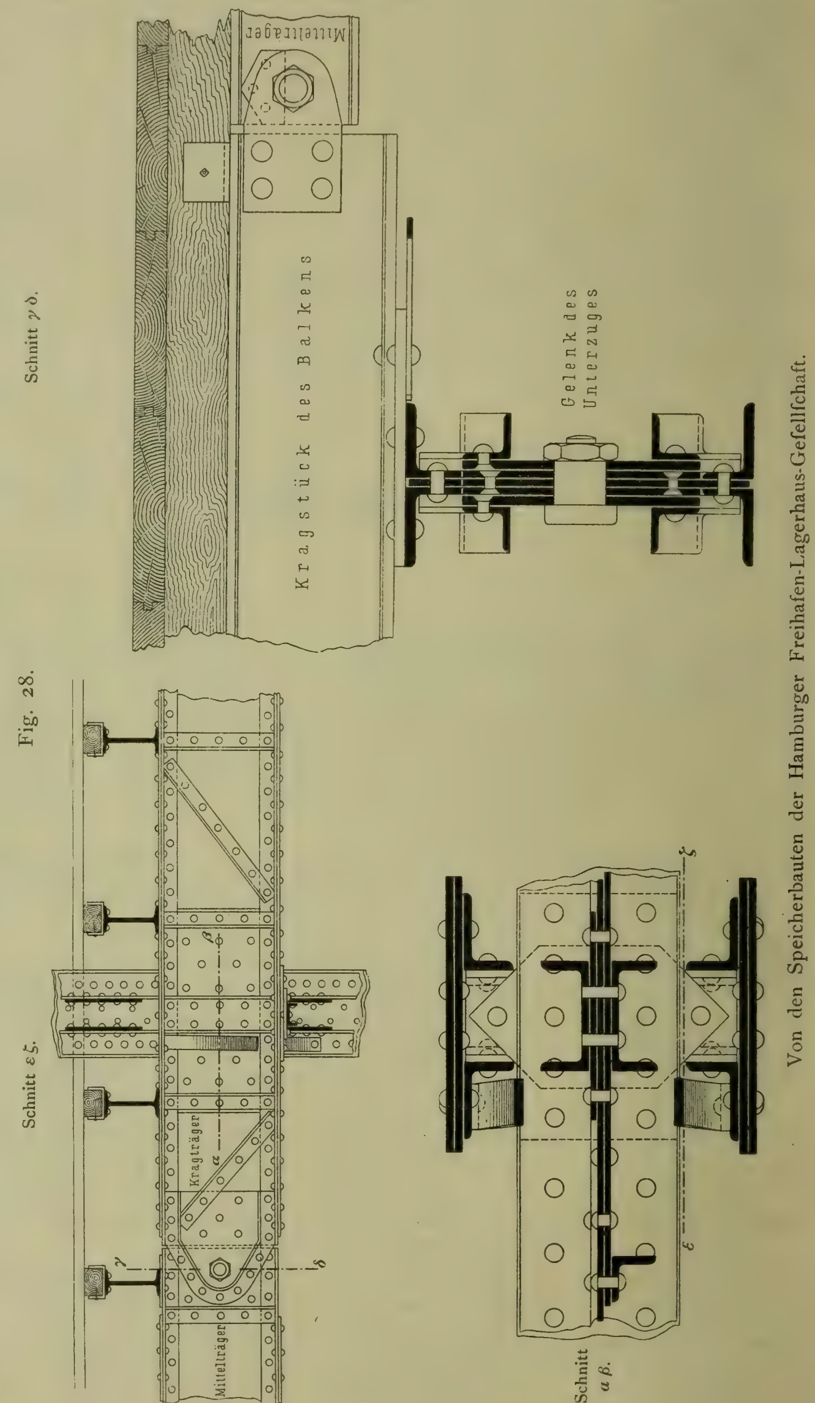


Fig. 28.

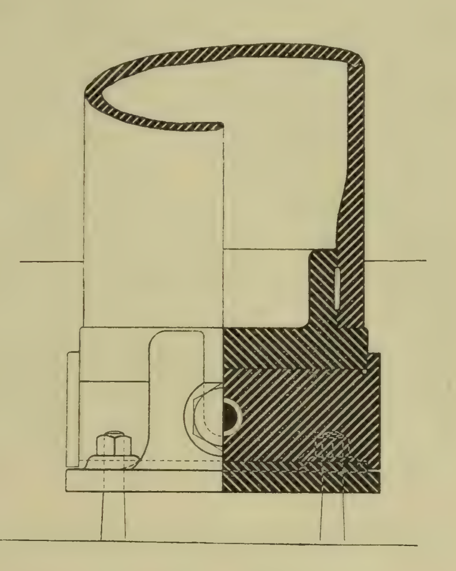
Von den Speicherbauten der Hamburger Freihafen-Lagerhaus-Geſellſchaft.

[26]) Jetzt würden ſich hier *Mannesmann*-Rohre empfehlen.

Eine ſehr kräftige Deckenſtützung aus den Speicherbauten der Hamburger Freihafen-Lagerhaus-Geſellſchaft zeigt Fig. 28.

Der Querſchnitt der Stütze hat die durch Fig. 545 (S. 191 [27]) in Theil III, Band 1 dieſes »Handbuches« angegebene Grundform; nur ſind die beiden Wände mittels Erſatz der beiden **[**-Eiſen durch vier **L**-Eiſen geöffnet, um den Unterzug durch die Stütze ſtecken zu können. Aus zwei Blechplatten nebſt einem **⊓**-Eiſen und einer Deckplatte iſt in der Stütze ein Steg für die Aufnahme des genieteten Unterzuges ausgebildet, welcher eine nahezu ſtets genaue Laſtübertragung ermöglicht. Der auf dieſen Querſteg gelagerte Unterzug iſt durch zwei ſchräg von der äuſseren Stützenwand nach ſeiner oberen Gurtung anſteigende Flacheiſen am Kippen verhindert. Die Stützen laufen von unten bis oben ohne Unterbrechung durch; wo Stöſse durch die Abänderung der Abmeſſungen von Querſchnittstheilen erforderlich wurden, ſind dieſelben verlaſcht. Der Unterzug iſt an der Auflagerſtelle durch zwei Platten und zwei **⊔**-Eiſen für die Balkenauflagerung durch lothrechte und ſchräge **L**-Eiſen verſteift. Die beiden Stützenhälften ſind durch in der Theilung $\frac{\lambda}{2}$ (ſiehe die in Fuſsnote 23 angezogene Gleichung in Theil III, Band 1 dieſes »Handbuches«) eingeſetzte Blechverbindungen gegen einander abgeſteift.

Fig. 29.



Vom Schleſiſchen Bahnhof zu Berlin. — $^1/_{12,5}$ n. Gr.

Dieſe Decken haben die auch in Fig. 9 (S. 8) angedeutete wagrechte Kreuzverſpannung der Stützen und Unterzüge erhalten, von welcher in Fig. 28 (Schnitt $\gamma\,\delta$) der Anſchluſs eines Flacheiſens an die obere Gurtung des Unterzuges und zugleich an den mit dem Unterzuge vernieteten Balken ſichtbar iſt.

Die in Fig. 28 dargeſtellten beiden Gelenkanordnungen werden weiter unten beſprochen werden.

8.
Regelbare Lagerung.

In einzelnen Fällen, z. B. bei der Stützung continuirlicher Träger, kann eine beſonders groſse Genauig-

[27]) 2. Aufl.: Fig. 558 (S. 213).

keit der Höhenlage der Stütze gefordert fein. Da es nun fchwierig ift, einen fchweren Stützkörper ganz genau in die verlangte Höhe zu bringen, fo mufs man in folchen Fällen Vorkehrungen zu nachträglicher Berichtigung treffen, welche unter Zuhilfenahme der Schraube, des Keiles oder auch beider zugleich jederzeit ein Nachftellen geftatten. Fig. 29 zeigt eine folche Einrichtung am Fufse einer gufseifernen Freiftütze im Schlefifchen Bahnhofe in Berlin.

Die Grundplatte ift zweitheilig geftaltet, fo dafs der obere, unten fchräg begrenzte Körper zwifchen am unteren Körper befeftigten Führungen auf- und niedergleiten kann. Zwifchen beide fchiebt fich ein mit Schraubengewinde durchlochtes Keilftück ein, welches durch Drehung einer in den Führungsbacken an der Unterplatte feft gelagerten wagrechten Schraubenfpindel nach beiden Richtungen fich bewegt, fomit zum Heben und Senken der Stütze benutzt werden kann.

Die Anordnung hat in diefer Geftalt den Mangel excentrifcher Laftübertragung der Grundplatte, welche auf die Stütze biegend wirkt.

9. Verfteifung der Freiftützen.

Die Verfteifung der Freiftützen erfolgt bis zu gewiffem Grade durch die Unterzüge und Balken, welche erft der Länge nach verfchoben werden müffen, ehe die Stütze weichen kann, welche alfo die Stützen gegen einzelne Punkte der Wände verfpreizen. In den meiften Fällen genügt dies. Ruht aber z. B. ein ftädtifches Haus im Erdgefchofs aufser auf den möglichft fchwach gehaltenen und zum Theile in dünne fchwer belaftete Pfeiler aufgelösten Umfaffungswänden lediglich auf Freiftützen, fo erfcheint es erwünfcht, die Balkenlage mit ihren Unterzügen zu einer unverfchieblichen Tafel zu geftalten, in welcher einzelne Glieder allein nicht verfchoben werden können, damit wenigftens die volle Ausdehnung der Wände zur Verfteifung der Stützenköpfe ausgenutzt wird. Dies ift zu erreichen, indem man Bandkreuze aus Flacheifen, von den Stützen ausgehend, unter den Balken, bezw. Unterzügen befeftigt, durch welche in wagrechtem Sinne Dreiecksverband entfteht. Diefe in der Deckenausbildung leicht zu verfteckenden Bänder find ihrer Lage nach in Fig. 9 (S. 8) geftrichelt angedeutet, und ein Beifpiel des Anfchluffes eines derartigen Bandes an einen Balken und Unterzug zugleich zeigt Fig. 28.

c) Auflagerung der Balken auf Unterzügen, bezw. der Unterzüge auf einem Mittelträger.

10. Continuirliche Träger.

In der Regel ift genügende Höhe vorhanden, um die Balken über den Unterzug hinftreichen laffen zu können. In diefem Falle können die Balken als continuirliche Träger angeordnet, und bei ihrer Bemeffung kann die Erfparnifs ausgenutzt werden, welche die für den continuirlichen Träger dem Träger auf zwei Stützen gegenüber geringeren Biegungsmomente geftatten. Das Feftlegen diefer Momente müffte mit Rückficht auf die Durchbiegung des Unterzuges erfolgen, ein Verfahren, welches zugleich mühfam und unficher ift. Denn da die Höhenlage des Unterzuges wefentlich auch von den nicht zu vermeidenden Sackungen abhängt, fo geben die Durchbiegungen allein nicht die richtige Höhenlage der einzelnen Punkte des Unterzuges an. Da nun das gröfste Biegungsmoment des Trägers auf zwei Stützen, wenn nicht aufsergewöhnliche Verfackungen eintreten, ftets gröfser ift, als das des continuirlichen Trägers von gleicher Oeffnungsweite, fo wird man für alle gewöhnlichen Fälle etwas zu ficher verfahren, wenn man die Balken mit gleich bleibendem Querfchnitte als Träger auf zwei Stützen für ihre gröfste freie Weite berechnet.

Dann empfiehlt es fich aber, diefe Eigenfchaft nicht blofs der Berechnung zu Grunde zu legen, fondern fie den Balken auch wirklich zu geben, indem man letztere

über dem Unterzuge fo weit durchfchneidet, wie dies mit Rückficht auf die Verankerung der Wände oder auf die Uebertragung von Längskräften, z. B. in Dachbinderbalken, zuläffig erfcheint. Denn da die continuirlichen Träger die gröfsten Laften auf ihren Mittelftützen fammeln — für den Träger auf drei Stützen ift z. B. bei der gleichförmigen Belaftung q auf die Längeneinheit und der Stützweite l der Druck auf die Mittelftütze $= \frac{5}{4} q l$, für zwei zufammen gelagerte Träger auf zwei Stützen nur $= q l$ — fo bringt man die Laften durch Continuität der Balken in höchft unerwünfchter Weife vorwiegend auf die Unterzüge, deren Querfchnitt ohnehin meift fchon unbequem ftark wird; man entlaftet dagegen die die Balkenenden tragenden Aufsenmauern, die bezüglich ihrer Tragfähigkeit felten ganz ausgenutzt find. Sind die Balken aus Eifen, fo lege man in jeden einen Stofs über den Unterzug und verbinde die Enden, wenn es nöthig ift, durch doppelte Flacheifenftreifen auf Zug.

11. Befeftigen continuirlicher Balken auf Unterzügen.

Beim Befeftigen continuirlicher Balken auf den Unterzügen ift zu beachten, dafs in der Auflagerung keine Schwächung durch Bolzen oder Nietlöcher in den Flanfchen eiferner oder durch erhebliche Ausfchnitte in hölzernen Balken eintreten darf, weil in der Auflagerung eines der gröfsten Biegungsmomente wirkt, man alfo den Trägerquerfchnitt um die Schwächung verftärken müffte. Mittel zur Vermeidung diefer Schwächung find die folgenden.

1) Ift der Unterzug mit Nieten in der oberen Gurtung zufammengefetzt, fo kann man in die Nietreihen zwei oder vier Hakenbolzen nach Fig. 20 u. 26 einfetzen, welche dann aber die Längsverfchiebung der Balken nur durch Einklemmen verhindern.

2) Eine fefte Vernietung wird durch die in Fig. 28 dargeftellte Anordnung ermöglicht. Hier ift zwifchen Balken und Unterzug eine Platte eingelegt, welche mit dem zufammengefetzten Unterzuge feft vernietet, feitlich fich fo weit unter den Balken erftreckt, bis fie eine Stelle erreicht, wo das Biegungsmoment klein genug ift, um die Schwächung des Balkenflanfches durch Nietlöcher zuläffig erfcheinen zu laffen.

3) Verträgt der Unterzug felbft auch keine Schwächung, fo kann man diefe Balkenanfchlufsplatte umbiegen und an den Steg des Unterzuges nieten, oder

4) man niete nach Fig. 19 an den Steg des Unterzuges, wie des Balkens je eine umgebogene Platte, welche mit Ausklinkungen in einander greifen. Letztere Anordnung verhindert jedoch ein Abheben des Balkens nach oben nicht.

In fehr vielen Fällen genügt es, die Balken lofe auf die Unterzüge zu lagern, namentlich wenn die übrige Ausbildung der Decke Verfchiebungen der Balken unmöglich macht, wie z. B. in Fig. 23.

12. Continuirliche Gelenkträger.

Man kann die Materialerfparnifs des continuirlichen Balkens mit Sicherheit voll ausnutzen, wenn man ihn als continuirlichen Gelenkträger ausbildet, da deffen Momente von der Höhenlage der Unterftützungen unabhängig find. Aber auch diefe Conftructionsweife vergröfsert die Belaftung der Mittelftützen, d. h. der Unterzüge, beträchtlich, und es bleibt daher in jedem Falle zu unterfuchen, ob nicht die Erfparnifs an den continuirlichen Gelenkbalken durch die nothwendige Verftärkung der Unterzüge mehr als ausgeglichen wird.

Bei den Unterzügen fallen diefe Bedenken weg, da eine ziemlich bedeutende Mehrbelaftung, namentlich an fich fchon fchwerer eiferner Stützen, keine wefentlichen Mehrkoften verurfacht. Für Unterzüge und diefe unterftützende Mittelträger ift da-

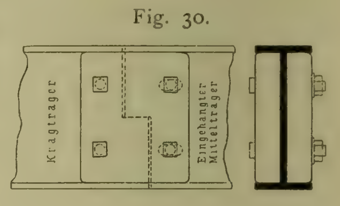
her diefe neuerdings mehr und mehr verwendete Conftruction wegen der damit verbundenen bedeutenden Erleichterung fehr zu empfehlen. Es ift defshalb fchon bei Befprechung der Beifpiele für Stützungen von Unterzügen auf diefen Punkt ftets befonders hingewiefen, und es wird auch in Kap. 6 bei Ermittelung der Stärke der Deckentheile und Unterftützungen noch näher hierauf eingegangen werden.

13.
Conftruction der Gelenke.

Anordnungen der Gelenke folcher continuirlicher Gelenkträger, welche nur die Uebertragung von lothrechten Querkräften, nicht von Biegungsmomenten geftatten, find in Fig. 26, 28, 30 u. 31 dargeftellt.

In Fig. 26 ift die Blechwand des continuirlichen Unterzuges falzartig ausgeklinkt und zugleich durch zwei eben fo geformte Bleche verftärkt. Im Falze ift auf diefe Weife eine Lagerfläche von drei Blechdicken gebildet, welche unten einen gewölbten, oben einen ebenen Lagerkörper trägt, fo dafs ein vollftändiges fog. Berührungs-Kipplager entfteht. Die beiden Lagerkörper find durch einen eingefetzten Stahldollen, fo wie durch zwei auf die Verftärkungsbleche genietete L-Eifen nach allen Richtungen unverfchieblich gemacht. Sollte der eingehängte Mittelträger fehr lang und ftarken Wärmeänderungen ausgefetzt fein, fo mufs man die Dollenlöcher an einem Ende etwas länglich machen, damit die erforderliche Beweglichkeit für Wärmeausdehnungen gefichert bleibt. Die Dollen find jedoch weniger wefentlich, als die feitlichen L-Eifen, und können wegbleiben.

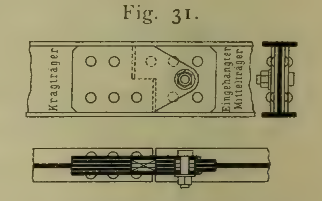
Fig. 30.



In Fig. 28 ift ein Gelenk für einen I-Balken gezeichnet. An das überkragende Ende des Balkens find zwei Lafchen genietet, zwifchen deren vorkragende Spitzen fich die durch ein aufgenietetes Blech entfprechend verftärkte Wand des Mittelträgers fchiebt. Durch die Lafchen und den verftärkten Mittelträger ift dann der Gelenkbolzen gezogen, welcher nach den in Theil III, Band 1 (Art. 226 bis 229, S. 155 u. ff. [28]) diefes »Handbuches« für Bolzenanfchlüffe gegebenen Regeln zu bemeffen ift.

Für unverftärkte Blechwände wird der Bolzendurchmeffer bei Bolzengelenken übermäfsig ftark. Beim Unterzuggelenke in Fig. 28 ift daher die Wand des Kragträgers, wie des Mittelträgers, zunächft durch je zwei — fo weit nöthig mit verfenkten Nieten — aufgenietete Bleche verftärkt; dann find wieder zwei ftarke Lafchen an den Kragträger genietet, welche den Mittelträger umfaffen und den Gelenkbolzen aufnehmen. Aufserdem find die Gelenklafchen mit L-Eifen gefäumt, und auch im Uebrigen ift die Gelenkftelle mit L-Eifen thunlichft verfteift.

Fig. 31.



Häufig wird die Nietarbeit an Walzträgern gefcheut, da fie die Träger vertheuert. Ein Falzgelenk für Walzträger, wie in Fig. 26 für genietete, ohne Nietarbeit mit wefentlich verftärkten Gelenklagerflächen zeigt Fig. 30, wo zur Unterftützung der unverftärkten Falzfläche im Trägerflanfch zwei genau eingepaffte Gufsklötze zwifchen die Flanfche gefetzt und nöthigenfalls beweglich — mit länglichen Löchern — eingebolzt find. Denjenigen Theil des Auflagerdruckes des Mittelträgers, welchen die kleine Falzfläche nicht übertragen kann, übertragen die beiden Gufsklötze von der oberen Gurtung des Mittelträgers nach der unteren Gurtung des Kragträgers, zugleich feitliche Verfchiebungen der Träger gegen einander verhindernd.

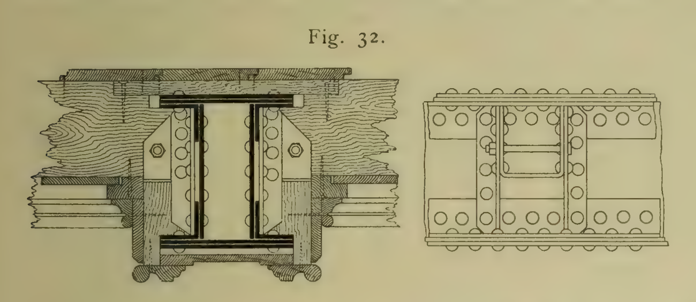
---

[28]) 2. Aufl.: Art. 228 bis 231, S. 163 u. ff.

Scheut man das etwas mühfame falzartige Abfchneiden der Trägerenden, fo kann man die Träger auch glatt und ftumpf vor einander ftofsen und fich bezüglich der Auflagerung des Mittelträgers allein auf die eingebolzten Gufsklötze verlaffen.

Fig. 31 zeigt fchliefslich ein durch aufgenietete Bleche verftärktes Falzlager für Walzträger ohne die ftählernen Einfätze in Fig. 26. Die äufseren Lafchen mit dem Bolzen haben hier nur den Zweck, Seitenverfchiebungen zu verhindern; der Bolzen kann alfo fchwach fein. Er ift in ein längliches Loch des Mittelträgers gefetzt, damit diefer für Wärmeänderungen beweglich bleibt. Die Befeftigungsniete der Verftärkungsplatten an der Wand müffen wegen der beiden äufseren Lafchen zum Theile verfenkt werden.

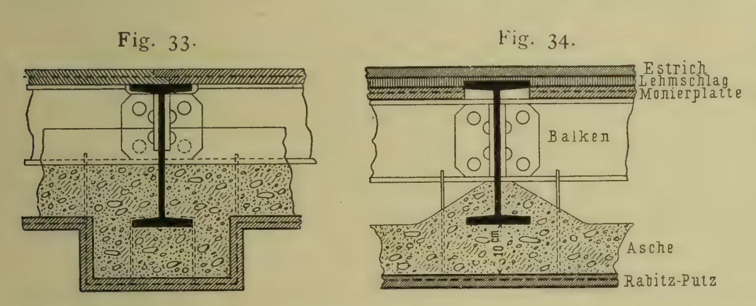
Fig. 32.



14. Verfenkte Unterzüge.

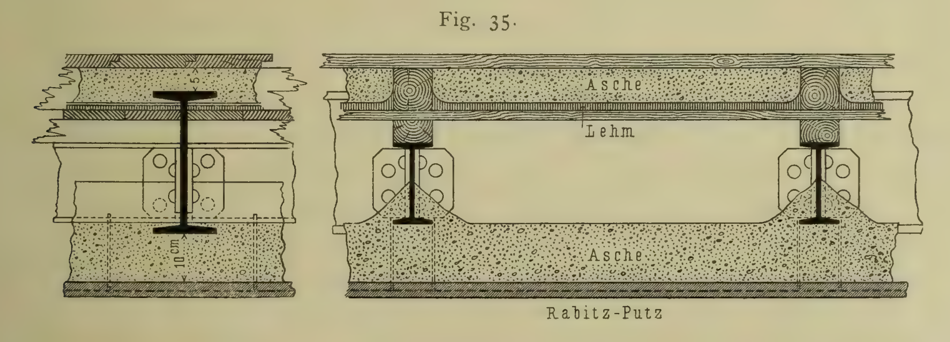
Wird verlangt, dafs die Unterzüge ganz oder theilweife in der Decke felbft verfchwinden follen, fo kann man die Balken nicht mehr über jene ftrecken, fondern mufs fie an jeder Seite des Unterzugträgers abfchneiden und befeftigen. Eine Anordnung, bei welcher ein ftarker kaftenförmiger Unterzug faft ganz in der Balkenhöhe verfchwindet, fo dafs unten nur ein niedriges Band vorfpringt, zeigt Fig. 32.

Fig. 33. Fig. 34.



Mittels Winkeleifen find hier dem Querfchnitte der Balken entfprechende Blechlager am Unterzuge befeftigt; die Balken find von oben her fo ausgefchnitten, dafs, wenn ihre Enden unter die obere Gurtung des Unterzuges gefteckt werden, die Oberkante über letzteren hervorragt; ein die beiden Balkenenden verbindendes Bohlenftück geftattet dann

Fig. 35.



die Befeftigung der Holztheile des Fufsbodens auch über dem Unterzuge [29]). Unten ift der Unterzug durch Leiften und Bretter verkleidet, welche zugleich die Deckenbretter tragen, ein Beifpiel der fpäter zu befprechenden Holzdecke.

Auch Fig. 24, 33, 34 u. 35 zeigen Beifpiele von ganz oder theilweife innerhalb der Deckendicke untergebrachten Unterzügen für eiferne Balkenlagen.

---

[29]) Siehe: *Annales des travaux publics*, Bd. 9, S. 2099.

Literatur

über »Unterftützung der Balkendecken«.

Emploi du fer et de la fonte dans les conftructions. I. Colonnes en fonte. Revue gén. de l'arch. 1854, S. 314.

The mode of connecting iron columns in tiers. Builder, Bd. 22, S. 916.

GÄRTNER, J. Erfatz der Mauerlatten durch Eifenfchienen. Zeitfchr. f. Bauw. 1871, S. 105.

Iron columns. Building news, Bd. 28, S. 33.

Affemblage des colonnes et des planchers. La femaine des conft. 1876—77, S. 111, 146.

Caft-iron hollow columns. Building news, Bd. 32, S. 454.

Balkenauflager von Mechwart. Zeitfchr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover. 1877, S. 696.

Fixing columns. Building news, Bd. 35, S. 24.

Säulen- und Trägerverbindungen im Schriftgiefsereigebäude der Herren *Schelter & Giefecke*, Leipzig. ROMBERG's Zeitfchr. f. prakt. Bauk. 1880, S. 305.

Neue amerikanifche vielgefchoffige Wohngebäude. *Scientific American*, Suppl. 1891, Nr. 816, S. 13055. *Le génie civil*, Bd. 19, S. 377. *Engng. news* 1892, S. 2, 3, 41, 42.

---

2. Kapitel.

Balkendecken in Holz.

15. Beftandtheile.

Die Decke in Holz befteht aus folgenden zwei Haupt-Conftructionstheilen:

1) aus den tragenden Balken oder Tramen (Träme), welche man unter der Bezeichnung Balkenlage zufammenzufaffen pflegt, und

2) aus der Ausfüllung der Balkenfache, welche die Decke gegen das Durchdringen des Schalles und der Wärme dicht zu machen hat, auch Fehlboden oder Zwifchendecke genannt.

Hierzu kommt noch in der Regel:

3) die Decke des unterliegenden Raumes im engeren Sinne, welche den unteren Abfchlufs der ganzen Decken-Conftruction bildet.

Eben fo ift meiftens

4) ein Fufsboden vorhanden, welcher auf den Balken ruht, dem Verkehre im oberen Raume dient und den Abfchlufs des letzteren nach unten bildet.

Im Nachfolgenden wird hauptfächlich von den beiden zuerft genannten Conftructionstheilen die Rede fein. Die Decke im engeren Sinne wird in fo weit vorgeführt werden, als fie des unmittelbaren Zufammenhanges wegen hierher gehört; doch wird in Theil III, Band 3, Heft 3 diefes »Handbuches« von diefem Gegenftande noch eingehend gehandelt werden. Der Fufsboden, welcher häufig die Balkenlage nach oben hin abfchliefst und in der Regel die Aufgabe hat, die Verkehrslaft auf die Balkenlage, bezw. die Lagerhölzer zu übertragen, gehört nicht in den Rahmen diefer Betrachtung, wie fchon in Fufsnote 1 (S. 1) bemerkt wurde; über denfelben ift das Erforderliche im eben genannten Hefte diefes »Handbuches« zu finden.

a) Balkenlage.

16. Verfchiedenheit.

Die Balkenlagen werden unterfchieden nach ihrer Höhenlage in: 1) Balkenlage des Erdgefchoffes; 2) Balkenlagen der Obergefchoffe, wobei die das Gefchofs unten begrenzende Balkenlage diefem zugezählt wird; 3) Dachbalkenlage, und 4) Kehlgebälke.

Balkenlagen des Erdgefchoffes finden fich nur über fog. Balkenkellern als Erfatz der Kellerwölbung in billig hergeftellten Gebäuden, find jedoch wegen geringerer Dichtigkeit und Haltbarkeit der Ueberwölbung nicht gleichwerthig. Balkenlagen werden an diefer Stelle namentlich dann verwendet, wenn eine eigentliche Unterkellerung fehlt. Es ift dann der Lüftung und Trockenhaltung des Erdgefchoffes wegen nöthig, letzterem eine Balkenlage zu geben, unter welcher der Grund auf eine Tiefe von mindeftens 80 cm befeitigt werden mufs, fo dafs fie einer Kellerbalkenlage ganz gleich wird.

Die Balkenlagen der Obergefchoffe, auch Zwifchen- oder Etagen-Gebälke genannt, ruhen auf den Wänden und dienen zugleich zur Verankerung derfelben gegen einander.

Die Dachbalkenlage nimmt die Gefpärre des Dachftuhles auf, enthält daher in der Regel einen Balken unter jedem Dachbinder, welcher dann durch Zugbeanfpruchung zugleich die aus dem Dachftuhle etwa entftehenden Schübe aufzunehmen hat.

Kehlgebälke werden von den Kehlbalken hoher Kehlbalkendächer gebildet und theilen den Dachraum in mehrere Höhenabtheilungen. Diefe Gebälke haben jedoch meift nur für das Abbinden der Dachbinder Bedeutung; zur Aufnahme von Verkehr wurden fie häufig in den hohen mittelalterlichen Dächern benutzt, in denen der Dachraum zur Anlage von Speicherräumen diente; heute werden fie feltener zu vollen Balkenlagen ausgebildet, meift nur dann, wenn im Dachgefchofs untergeordnete Wohnräume gefchaffen werden follen.

17. Regelmäfsige und verfchoffene Gebälke.

Eine regelmäfsig angelegte Balkenlage foll das Gebäude in feiner kürzeren Abmeffung mittels durchgehender Balken vollftändig durchfetzen; bei Gebäuden mit langer Front, daher geringer Tiefe, werden die Balken hiernach in der Regel winkelrecht, bei fchmalen tiefen Gebäuden parallel zur Front liegen.

Läfft man die Balken in verfchiedenen Theilen eines Gebäudes nach verfchiedenen Richtungen ftreichen, fo entftehen verfchoffene Gebälke, welche mangelhaft find, in fo fern fie die durchgehende Verankerung aufgeben und im Zufammenfchnitte der verfchiedenen Gebälktheile, in Folge der Einzapfung einer Mehrzahl von Balken der einen Gruppe in den äufserften Balken der benachbarten, fchwache Stellen haben.

Fig. 36.

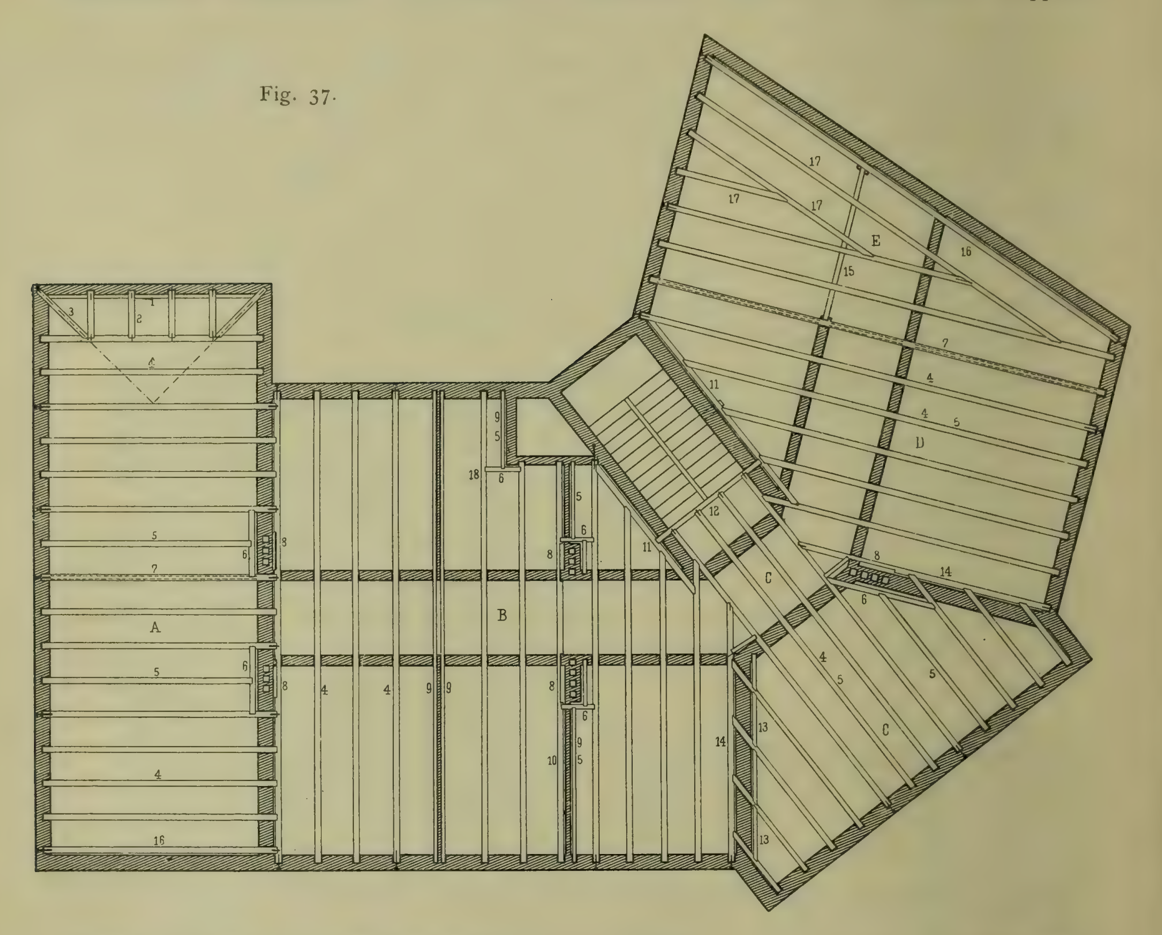
Fig. 36 giebt ein in einfachen Linien angedeutetes Beifpiel eines folchen verfchoffenen Gebälkes, in welchem nur die Balken *a a* richtig angeordnet wurden. Die verfchoffenen Balken laufen gegen einen der durchgehenden Balken, in welchen fie mittels Bruftzapfen eingelagert werden. Diefe Bruftzapfen fchwächen nun aber den Balken erheblich; wenn daher eine verfchoffene Anlage nicht zu vermeiden ift, fo foll man wenigftens dafür forgen, dafs die verfchoffenen Balken dicht vor ihrer Einlagerung in den durchgehenden, wie bei *b b*, durch eine Mittelwand geftützt werden. Balken, wie *c c*, würden, ganz abgefehen von der Schwächung durch die Zapfen, unter Verwendung gewöhnlicher Holzftärken der vom verfchoffenen Gebälke auf *c c* übertragenen Laft entfprechend nicht zu bemeffen fein.

Derartige verfchoffene Gebälke werden jedoch dann zur Nothwendigkeit, wenn das Gebäude aus mehreren unter einem Winkel zufammenftofsenden Flügeln befteht. In diefem Falle ift die ganze Balkenlage als aus mehreren einzelnen zufammengefetzt anzufehen, deren jede über einem der Gebäudeflügel regelrecht entwickelt ift. Es ift dann nur darauf zu achten, dafs in den Zufammenfchnitten der einzelnen Gruppen keine zu grofsen Schwächungen oder Belaftungen einzelner Balken entftehen.

In der in Fig. 37 dargeftellten Balkenlage eines beliebigen fchiefwinkeligen Grundriffes find 5 Gruppen zu unterfcheiden.

Von diefen ift zunächft *A* vollftändig unabhängig von den übrigen, es werden nur zur befferen Verbindung der Gebäudetheile die der Tiefe von *A* entfprechenden Balken in den letzten der Gruppe *B*

Fig. 37.



eingezapft und geklammert, was unbedenklich ift, da alle Balken vor der Einzapfung auf einer Mauer ruhen. Die Regelmäfsigkeit von *B* wird nur dadurch unterbrochen, dafs die letzten Balken durch das Treppenhaus, bezw. durch den fchrägen Anfchnitt an die Balken von *C* verkürzt werden. Die Balken von *C* ftofsen an beiden Seiten auf die letzten Balken von *B* und *D* und werden dicht hinter ihrem Wandauflager verzapft; die mittleren Balken von *C* greifen gleichfalls nicht durch, fondern werden durch das Treppenloch verkürzt. Die Vereinigung von *C* mit *D* ift diefelbe, wie die von *C* mit *B*. Schliefslich entwickelt fich am anderen Ende des Flügels *D* noch eine Gruppe *E* aus dem Wunfche, den Abfchlufs aus Balken herzuftellen, welche entlang der fchrägen Giebelwand liegen. Wollte man aber alle in Frage kommenden Balken von *D* in einen an die Giebelwand gelegten einzapfen, fo würde diefer zu fchwer belaftet werden. Es find daher mehrere Balken parallel zum Giebel angeordnet, und die Balken der beiden Gruppen *D* und *E* find nun wechfelweife in einander gelagert, fo dafs jeder Balken nur einen anderen aufzunehmen hat.

18. Aufgaben der verfchiedenen Balken.

Die einzelnen Balken einer Balkenlage (Fig. 37) haben fehr verfchiedene Aufgaben zu erfüllen; danach werden die folgenden Arten derfelben unterfchieden.

1) Ganze Balken (*4* in Fig. 37) gehen durch die ganze Tiefe des Gebäudes durch, haben daher mindeftens an jedem Ende ein maffives Auflager. Werden fie fehr lang (länger als etwa 15 m), fo werden fie auf einer Mittelwand mittels gewöhnlichen oder franzöfifchen Hakenblattes geftofsen.

Diefe Balken find die ftärkft bemeffenen und werden vorwiegend zur Verankerung der Aufsenwände benutzt. Da diefe Balken aus langen Stämmen gewonnen werden müffen, man von diefen jedoch nicht mehr wegfchneidet, als zur Erlangung vollkantigen Holzes erforderlich ift, fo werden die Balken am einen Ende häufig einen gröfseren Querfchnitt haben, als am anderen. Sie werden dann fo gelagert, dafs die Unterkante genau wagrecht liegt, erhalten alfo eine geneigte Lage der Oberkante. Soll auch ein Fufsboden hergeftellt werden, fo ift zur Lagerung deffelben gleichfalls eine wagrechte Oberkante erforderlich; in diefem Falle giebt man folchen Balken einen keilförmigen Auffchiebling in Geftalt einer etwa 5 cm breiten Latte, welche überall die durch die gröfste Balkenftärke feft gelegte Höhe herftellt (Fig. 38).

Fig. 38.

2) Stichbalken und Gratftichbalken (*2* u. *3* in Fig. 37) kommen zur Verwendung, wenn man Balkenköpfe an denjenigen Begrenzungsmauern erforderlich hält, mit denen die Balken parallel liegen. Jeder Stichbalken (*2*) ruht mit einem Ende auf der Mauer, mit dem anderen mittels Bruftzapfens oder, wenn ein wagrechter Zug auf die Verbindung wirkt, mittels fchwalbenfchwanzförmigen Blattes mit Brüftung auf dem erften ganzen Balken; der Gratftichbalken (*3*) wird gewöhnlich auf einer Mauerecke und dem erften Balken gelagert.

Diefe Art von Balken, welche felten über den erften Balken hinausreichen, werden vorwiegend in zwei Fällen verwendet, nämlich:

α) bei Fachwerken auf den Giebelfeiten aller Balkenlagen, wenn hier Rahmholz des unteren Gefchoffes und Schwelle des oberen getrennt ausgebildet werden follen; alsdann kommt der Gratftichbalken in die Axe des Eckftieles zu liegen;

β) in Dachbalkenlagen bei Anordnung von Walmdächern, um die Gratfparren und die Schiftfparren des Walmes in die Balkenköpfe verfatzen zu können; alsdann liegt der Gratftichbalken in der Richtung des Walmgrates.

Die Stichbalken erhalten auf maffiver Mauer in der Regel eine Wand- oder Mauerlatte (*1* in Fig. 37 [30]).

3) Balkenwechfel, Wechfel-, Trumpf- oder Schlüffelbalken (*6*, *12*, *13* in Fig. 34) ruhen an beiden Enden mit Bruftzapfen, bezw. fchwalbenfchwanzförmigem Blatte mit Brüftung auf anderen Balken.

Sie werden verwendet, wo ein Balken auf ein Hindernifs trifft, das feine Durchführung unmöglich macht. Der Wechfel überträgt den Stützendruck des ausgewechfelten Balkens (auch Stichbalken genannt, *5* in Fig. 37) auf die beiden Nachbarbalken. Da diefe im Allgemeinen aber fchon ihrem Querfchnitte entfprechend belaftet find, fo dürfen fie unverftärkt eine Auswechfelung nur in der Nähe eines Wandauflagers tragen. Auswechfelungen, wie bei *18* in Gruppe *B*, bedingen daher meift eine Verftärkung des ftützenden Balkens, wenn letzterer nicht zufällig eine geringe Weite überfpannt.

---

[30]) Vergl. auch Art. 2, S. 2.

Das gewöhnlichfte Hindernifs, welches Auswechfelungen bedingt, find die Feuerungs-Anlagen; die Holztheile dürfen an diefe nicht unmittelbar herantreten. Die Beftimmungen hierüber lauten verfchieden; z. B. alle Holztheile follen 20 cm von der Innenfläche der Rauchrohre oder 7 cm von der Aufsenkante der ½ Stein ftarken Rohrwangen entfernt bleiben. In manchen Fällen kann man diefer Vorfchrift durch Ausklinken der Balken (*8* in Fig. 37) genügen, meift mufs jedoch der auf die Rauchrohre ftofsende Balken (*5*) ganz ausgewechfelt werden.

Auch das Treppenhaus bietet regelmäfsig Anlafs zur Auswechfelung der auf daffelbe ftofsenden Balken mittels des Treppenwechfels (*12*). Diefer bildet die Flurkante am Treppenhaufe, hat meift eine gröfsere Zahl von ausgewechfelten Balken aufzunehmen und mufs daher als ftarker Unterzug ausgebildet werden, wenn die Balken nicht, wie meift der Fall ift, in der Nähe der Auswechfelung auf eine Mauer des Treppenhaufes gelagert find.

4) Gratbalken nennt man die ein Gebälke fchräg durchfetzenden Balken, gegen welche die übrigen fchief anlaufen (*14* in Fig. 37.) In den Dachbalkenlagen entfprechen folche Gratbalken gewöhnlich den Grat- und Kehlfparren.

5) Wandbalken bilden den oberen Abfchlufs fchwacher Scheidewände, welche in der Höhe der Balkenlage endigen. Sie liegen vollkommen auf der Wand auf. Sie find in Fig. 37 bei *D*, *7* dargeftellt, wenn man annimmt, dafs die hier angeordnete Wand über der Balkenlage nicht weiter geht.

6) Bundbalken liegen ganz in der Richtung einer Holz- oder Fachwerkwand, in welcher fie zugleich das Rahmholz der unterliegenden und die Schwelle der überliegenden Gefchofswand bilden; fie nehmen alfo die Zapfen der Wand auf, find aber meift breiter als diefe (*7* in Fig. 37).

7) Streichbalken find Balken, welche an einer Wand hinftreichen. Scheidewände, welche mit ½ Stein oder geringerer Stärke durch mehrere Gefchoffe gehen, müffen in jeder Balkenlage durch zwei Streichbalken (*9*) eingefafft werden. Soll ein Fufsboden hergeftellt werden, fo müffen auch entlang allen anderen Mauern Streichbalken gelegt fein, welche mit den Balken parallel laufen, da man hier fonft den Fufsboden nicht auflagern könnte; zu letzterem Zwecke müffen fie an vielen Stellen eingelegt werden, obwohl dadurch fehr enge Balkentheilungen entftehen. Die Auswechfelung (*18*) in *B* ift nur durch das Erfordernifs eines Streichbalkens an der benachbarten Scheidemauer nöthig geworden.

Die Streichbalken können (bei *11*) auch den Zweck haben, wichtige Wände (Treppenhausmauern) vor dem Einlagern von Balken zu fchützen. Sie werden in diefem Falle durch die eingelagerten Balken fehr fchwer belaftet und daher nicht felten durch aus der Wand vorgekragte Confolen geftützt. (Siehe Fig. 3 bis 6, S. 5, fo wie *11* in Fig. 37.)

Bei verfchoffenen Gebälken läfft man die Balken der einen Gruppe gern durch die Wand in einen auf der anderen Seite liegenden Streichbalken (*8* u. *14* in Fig. 37 u. *b* in Fig. 36) greifen, um hier eine innige Verankerung der Gruppen zu erzielen.

Schiefsen die Balken fchief gegen eine Wand, fo geben fie hier ungenügende Unterftützung für den etwa nothwendigen Fufsboden; es werden dann kleine Streichbalken (*13*) als Wechfel zwifchen den Hauptbalken erforderlich.

8) Giebelbalken find die Streichbalken an der Giebelwand; fie heifsen Ortbalken, wenn fie ganz oder zum Theile auf einem Abfatze der Giebelwand liegen.

9) Dachbinderbalken find die meiften Balken der Dachbalkenlage; fie erhalten diefen Namen, wenn über ihnen ein Dachgebinde entwickelt ift; fie haben dann meift den aus dem Dachbinder entftehenden wagrechten Schub aufzunehmen, da Sparren oder Streben in ihre Enden verfatzt find.

10) Kehlbalken find die Balken der Kehlgebälke im Dachftuhle; fie werden im nächften Hefte diefes »Handbuches« (bei den Dachftuhl-Conftructionen) befprochen werden.

11) Mauerlatten, Wandlatten oder Mauerbänke (*1*) find fchwache Hölzer, welche auf, in oder vor den Mauern auf Confolen oder anderen vorkragenden Conftructionstheilen liegen und ein gemeinfames Auflager aller Balken der Balkenlage abgeben. (Vergl. auch Art. 2, S. 2 u. Fig. 3 bis 7.) Sie haben den Zweck, die Laft der Balken auf eine gröfsere Länge der Mauer zu vertheilen, fchwache Stellen (z. B. weite Fenfter- und Thürbogen) zu entlaften und beim Zulegen als ficherer Anhaltspunkt für den Zimmermann zu dienen; fie fchwächen aber, ganz in die Wand gelagert, letztere erheblich und werden in Folge ihrer wenig luftigen Lage leicht Anlafs zur Fäulnifs der Hölzer.

12) Unter- und Ueberzüge (*15*) treten bei zu grofser Spannweite der Balken bezüglich der Unterftützung der letzteren an die Stelle der Wände. Sie haben die von den Balken aufgefammelten Laften zu tragen und werden daher in der Regel als kräftige Träger auszubilden fein. Unterzüge nehmen die Balken mittels Auflagerung, Ueberzüge mittels Anhängung auf. In Folge der erforderlichen Stärke ragen fie felbft dann noch gegen die Balkenlage vor, wenn fie auch, wie in Fig. 32 bis 35, die Höhe der Balken felbft mit ausnutzen. Da nun ein Vorfprung in der Deckenfläche gewöhnlich weniger hinderlich ift, als ein folcher im Fufsboden, auch Auflagerung der Balken billiger und ficherer ift, als Anhängung, fo kommen Unterzüge häufiger vor, als Ueberzüge. Nur für die Dachbalkenlage wird meift die Anordnung von Ueberzügen vorgezogen, weil im Dachraume der Vorfprung im Fufsboden meift nicht ftörend ift. (Vergl. auch das im vorhergehenden Kapitel unter e Gefagte.)

Bei älteren Bauten findet man Unter- und Ueberzüge dadurch erfetzt, dafs jeder der weit frei liegenden Balken zu einem verdübelten, verzahnten, offenen, armirten oder Gitterträger gemacht ift; bei neueren Conftructionen greift man in folchen Fällen lieber zur Verwendung eiferner Balken, da die oben genannten Anordnungen viel Conftructionshöhe in Anfpruch nehmen. Derartige Lagen von verftärkten Holzträgern werden daher hier nicht weiter berührt [31]).

Die aus den angeführten Hölzern beftehenden Balkenlagen durchfetzen das Gebäude nicht immer feiner ganzen Ausdehnung nach in der gleichen Höhenlage; vielmehr erhalten häufig einzelne an der Treppe liegende Räume den Fufsboden in Höhe der Treppen-Ruheplätze, oder es werden noch befondere Theilungen einzelner Räume in die Mitte der Gefchofshöhe gelegt (Hängeböden). Die Anordnung der Decken in folchen Lagen bedingt die Ausbildung kleiner gefonderter Balkenlagen, welche ganz den obigen Regeln folgen.

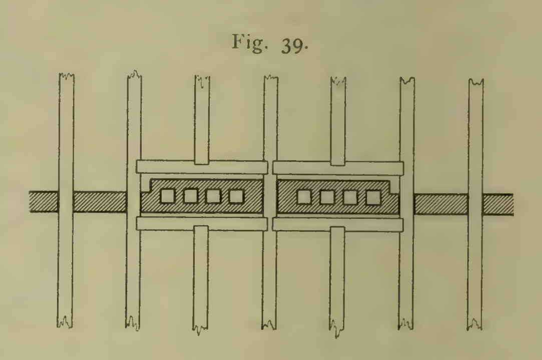
19. Entwerfen der Balkenlage.

Beim Entwerfen einer Balkenlage trägt man in den feft geftellten Gebäudegrundrifs zuerft alle nothwendigen Balken, d. h. die Giebel-, Ort-, Wand-, Bund- und Streichbalken, ein und theilt dann zwifchen diefen die übrigen mit 80 bis 100 cm

[31]) Vergl. darüber: GOTTGETREU, R. Lehrbuch der Hochbau-Konftruktionen. Theil II: Die Arbeiten des Zimmermanns. Berlin 1882. Taf. XIII.

Theilmafs für volle, mit 30 bis 60 cm Theilmafs für Bohlenbalken ein. Da nun nicht für alle durch die nothwendigen Balken gebildeten Abfchnitte gleiche Theilmafse zu finden fein werden, fo fällt die Balkentheilung in verfchiedenen Theilen des Grundriffes oft fehr verfchieden aus, wobei die am weiteften gefpannten Balken zweckmäfsig am engften gelegt werden (fiehe die Gruppe *C* in Fig. 37). Die fo vertheilten Balken werden nun zum Theile auf die oben erwähnten Hinderniffe: Schornfteine, Treppenhäufer, fchwache Stellen in den Tragmauern u. dergl., ftofsen, welche dann durch Auswechfelungen zu umgehen find. Lange Stichbalken follen vor der Auswechfelung thunlichft durch eine Wand geftützt fein; ausgedehnte Auswechfelungen in Folge einer gröfseren Reihe von Rauchrohren, welche quer zu den Balken fteht, vermeidet man, indem man die Rohre in zwei Gruppen theilt, zwifchen welchen man einen Balken durchgehen läfft (Fig. 39). Liegen die Rauchrohre in einer dreieckigen Winkelausmauerung zwifchen zwei Wänden, fo ift vor derfelben ein Wechfel fchräg zu legen, welcher dann häufig mit beiden Enden auf den Mauern ruht.

Fig. 39.



Bei allen gröfseren Auswechfelungen ift es zu empfehlen, Wechfel und Stichbalken durch eiferne Klammern zu verbinden (*12* in Fig. 37).

Beim Entwerfen ift ferner darauf zu achten, dafs man, abgefehen von den in die Umfaffungswände zu lagernden Balken, keine Theile blofs durch die Wände unterftützt, fondern alle Theile in einander lagert, wie z. B. die Wechfel *6* in Fig. 37, welche je an einem Ende auf eine Wand gelagert werden können, durch diefe aber hindurchgeführt find, um fie mittels Bruftzapfen in den erften getroffenen Balken zu lagern.

Der Grund hierfür liegt darin, dafs die Mauern auf dem Zimmerplatze nicht vorhanden find, man alfo alle Theile der gedachten Art beim Zulegen nicht unmittelbar unterftützen könnte, daher zu mittelbarem Einpaffen greifen müffte, was dann leicht zu mangelhafter Ausführung verleitet.

Sind in folcher Weife die Balken vertheilt, fo erfolgt die Stärkenbeftimmung der einzelnen, wobei jedoch meift nur die Breite zu ermitteln ift, da aus Gründen der Anlage der Decken und Fufsböden die Höhe aller Balken einer Balkenlage diefelbe fein mufs. Es liegt auf der Hand, dafs z. B. ein Streichbalken fchmaler fein kann, als ein ganzer, weil er nur die halbe Laft erhält. Soll der Streichbalken jedoch vor Rauchrohren (*8* in Fig. 37) ausgeklinkt werden, fo ift auf diefe Schwächung Rückficht zu nehmen. Eben fo erhalten diejenigen Streichbalken volle Stärke, welche beftimmt find, fchwache Scheidemauern abzufteifen.

20.
Verzimmern und Auflegen der Balkenlage.

Die Verzimmerung der fo entworfenen Balkenlagen erfolgt auf dem Zimmerplatze durch zeichnungsgemäfses Zufammenfügen aller Hölzer, wobei alle Verbindungen zugefchnitten werden. Man beginnt mit der unterften Balkenlage, legt auf diefe die zweite und fo fort, bis alle Balkenlagen fertig verzimmert über einander liegen. Nur fo ift es möglich, fowohl genaues Zufammenfügen der Hölzer jeder einzelnen Balkenlage, wie genaues Uebereinftimmen der Balken der verfchiedenen Gefchoffe zu erreichen; letzteres ift für genau lothrechte Aufführung der

Mauern unbedingt erforderlich. Für den Zimmermann ist hierbei die Anordnung von Wandlatten äufserst bequem, welche ihm leichte Lagerung der Balken beim Zulegen und einfaches Festlegen der Mafse der Umfassungswände gestatten. Welche grofsen Nachtheile aber übrigens die Mauerlatten unter Umständen für die Gebäude haben, wurde in Art. 18 (S. 33, unter 11) und in Art. 2 (S. 2) bereits erwähnt.

Das Aufbringen der verzimmerten Balkenlagen erfolgt, fobald die stützenden Mauern bis Balkenunterkante hoch geführt find. Die Maurer müssen während des Verlegens zu arbeiten aufhören, und um diese Unterbrechung thunlichst zu verkürzen, mufs man über die Gesammtheit der Arbeiten so verfügen, dafs die Balkenlagen fertig zugelegt find, bevor das Lager für die unterste hergerichtet ist. Nach dem Verlegen der Balkenlage erfolgt das in Kap. 7 (unter b) zu besprechende Einmauern der Balkenköpfe und die Weiteraufführung der Mauer des nächsten Geschosses.

21. Befondere Arten von Balkenlagen.

Als befondere Arten von Balkenlagen find zunächst die Blockbalkenlagen oder Dübelgebälke, auch Dübbel-, Döbel-, Diebel- oder Dippelgebälke geheifsen (Fig. 4 bis 6 u. 25), zu erwähnen. Sie bestehen aus mit einander verdollten, dicht neben einander gelegten Balken, find daher warm, stark und lassen den Schall nur wenig durch. Sie machen im Massivbau aber Schwierigkeiten bei der Einmauerung, müssen, wie in Fig. 4 bis 6, meist auf Auskragungen gelagert werden und finden fich daher jetzt nur noch in Ländern, wo niedrige Holzpreise und die feuerpolizeilichen Bestimmungen reinen Holzbau gestatten, bisweilen auch in Lagerhäusern auf eiserner Stützung (fiehe Fig. 25, S. 20).

Häufiger find Blindbalkenlagen (Fig. 40). Selbst bei sorgfältigster Herstellung einer Decke find Durchdringen von Schall und Erschütterungen nicht ganz zu beseitigen, wenn dieselben Balken Decke und Fufsboden tragen. Wird in reicheren Gebäuden völlige Undurchdringlichkeit verlangt, so legt man zunächst eine regelrechte Balkenlage zum Tragen des Verkehres im oberen Geschosse an, befestigt dann aber die Decke des unteren nicht an derselben, sondern schiebt zu diesem Zwecke befondere Balken in die Zwischenräume der ersteren ein, welche man Blind-, Fehl-, Fäll- oder Fallbalken nennt. Da dieselben nur die Deckenausbildung zu tragen haben, können fie erheblich schwächer sein, als die Hauptbalken, welch letztere hie und da zum Unterschied Sturzbalken geheifsen werden. So geht durch diese Doppelanordnung keine oder doch wenig Höhe verloren. Selbstverständlich müssen die Blindbalken so tief liegen, dafs auch die stärkste Durchbiegung der Tragbalken keinen mit diesen verbundenen Theil auf die Blindbalken fetzt. Der Luftraum zwischen den beiden Balkenlagen und die völlige Trennung der Auflagerung halten Erschütterungen und Schall fast vollständig zurück. Diese Anordnung schützt auch

Fig. 40.

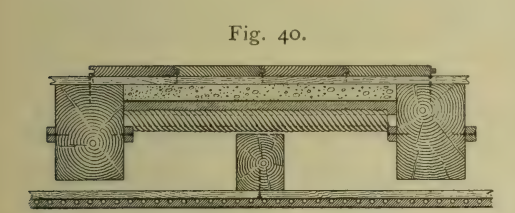


Fig. 41.

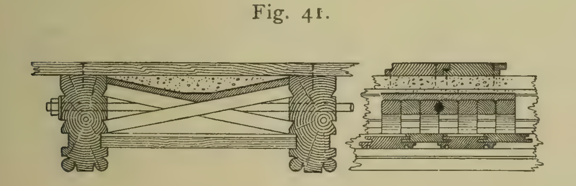


Fig. 42.

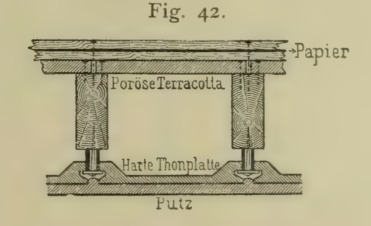


Fig. 43. Fig. 44.

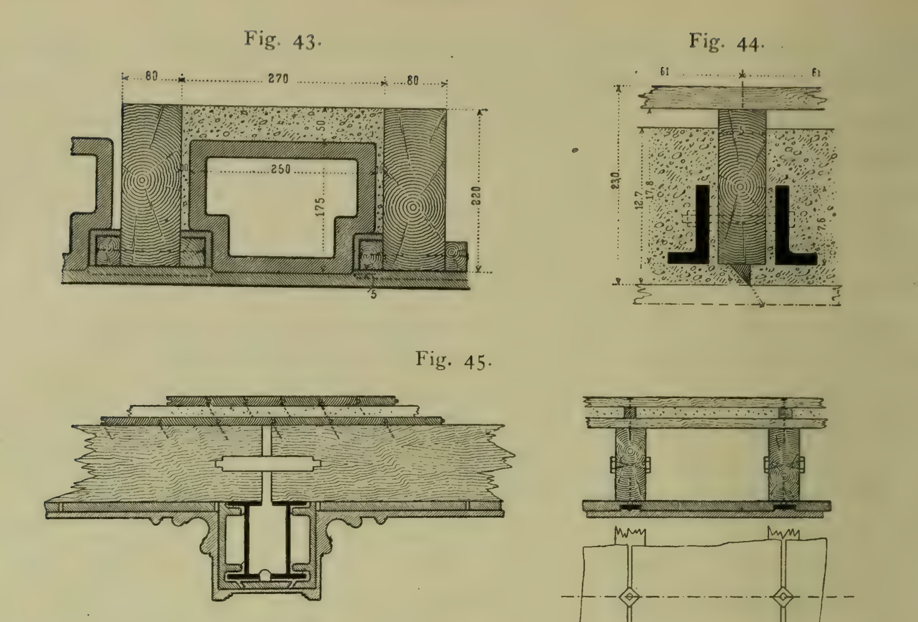


Fig. 45.

reiche Stuckausfchmückungen oder Decken-malereien vor den von oben kommenden Erfchütterungen.

In vielen Gegenden, z. B. in Nord-amerika[32]), verwendet man der Holzerfparnifs wegen vielfach **Bohlenbalken** (Fig. 41 bis 47), d. h. Balken aus hochkantig geftellten, vollkantig gefchnittenen Bohlen; da diefe aber leicht umkanten, fo müffen fie mindeftens dicht an jedem Auflager durch zwifchen fie eingezapfte Wechfelftücke gegen einander abgefpreizt werden. Andere Mittel zu ihrer Verfteifung werden im Folgenden (unter 2) angegeben werden.

Fig. 46. Fig. 47.

Dafs Balkenlagen, welche durchweg aus verftärkten Holzträgern beftehen, jetzt meift durch eiferne Tragwerke erfetzt werden, ift bereits erwähnt worden[33]).

22. Holzart und -Sorte.

Als Holzart wird jetzt an Stelle der früher häufig verwendeten Eiche wegen der bedeutenden Holzlängen, des billigeren Preifes und der guten Tragfähigkeit die Tanne, weniger gern die Kiefer verwendet. Die Lärche liefert vorzügliche Balken, ift aber felten.

Als Holzforte wird zu den Balken in der Regel Ganzholz verwendet; nur die fchmalen Streichbalken können aus Halbholz gebildet werden. Das Gleiche gilt von den Nebentheilen der Balkenlagen; nur ganz untergeordnete Hölzer, z. B. kurze Wechfel an den Wänden zur Aufnahme der Dielenenden (*13* in Fig. 37), können aus gewöhnlichem Verbandholz (Kreuzholz) hergeftellt fein.

Tadellofe Ausführungen follen nur **vollkantig gefchnittene** Hölzer enthalten; doch find wefentliche Nachtheile für die Dauerhaftigkeit aus der Verwendung

---

32) Siehe: *American engineer* 1887, S. 20. — *Engng. news* 1890, S. 368. — *Annales des travaux publics*, Bd. 9 (1888), S. 2099.

33) Vergl.: GOTTGETREU, a. a. O., Taf. XIII.

waldkantiger (auch wahnkantig genannt) Hölzer nicht zu befürchten, wenn diefe nur vollkommen von Borke, Baft und Splint befreit und fo weit befchlagen (gebeilt) find, dafs die Balkenlager genügend grofse ebene Auflagerflächen befitzen und erforderlichenfalls Fufsboden und Decke regelrecht angebracht und befeftigt werden können.

b) Ausfüllung der Balkenfache.

(Fehlböden oder Zwifchendecken.)

23. Ueberficht.

Unter diefer Ueberfchrift follen alle diejenigen Ausfüllungsanordnungen für die Balkenzwifchenräume (Balkenfache) zufammengefafft werden, welche den Zweck haben, die Decke undurchdringlich gegen den Schall und Wärmeunterfchiede zu machen. Es find daher hier fchlechte Wärme- und Schallleiter in zweckentfprechender Weife zu verwenden. Mangelhafte Ausbildung diefer Zwifchendecken bildet einen der hauptfächlichften Gründe für die Ungemüthlichkeit und ungefunden Eigenfchaften der Wohnungen in billig hergeftellten Speculationsbauten.

Es werden hier zu befprechen fein:

1) Balkenlagen ohne Ausfüllung;
2) Dübelböden;
3) Windelböden;
4) Einfchubböden, und
5) Befondere Anordnungen.

1) Balkenlagen ohne Ausfüllung.

24. Dübelgebälke.

Hierher gehören zunächft die Dübelgebälke, weil bei diefen die Balken (meift flach gelegte Halbhölzer) felbft die Ausfüllung bilden. Um die Fugen zu fchliefsen, verftreicht man fie von oben mit Lehm und deckt dann zur Schalldämpfung die Balken mit 7 bis 10 cm Füllung oder Bettung (meift trockenem feinem Sande) ab (Fig. 4 bis 6, S. 5). Soll ein Fufsboden aufgebracht werden, fo werden in diefe Füllung in Abftänden von 0,8 bis 1,0 m Lager aus Bohlen von 5 cm Dicke und 12 cm Breite eingebettet, welche den Fufsboden unmittelbar tragen und Polfter- oder Lagerhölzer genannt werden. Durch letztere erzielt man eine fchlichte Lagerung der Fufsbodenbretter, welche auf den nicht genau gefchnittenen Balken kein ebenes Auflager finden würden, und vermeidet das unmittelbare Uebertragen von Erfchütterungen. Sorgfältiger Fugenverftrich ift erforderlich, weil fonft die Füllung durchriefelt.

In Fig. 25 (S. 20) fehlt die Bettung, und der Fufsboden ruht unmittelbar auf dem Dübelgebälke, weil es hier auf leichtefte Anordnung in erfter Linie ankam[34]).

In gewöhnlichen Balkenlagen fehlt die Ausfüllung nur in Gebäuden, welche Lagerzwecken oder gewerblichen Betrieben dienen, nie in Wohngebäuden, aber befonders häufig da, wo die Balkenlagen fehr fchwer belaftet werden follen (in Speicherräumen, fiehe Fig. 15, S. 11), um die Decke an fich thunlichft leicht zu halten. Solche Decken fchliefsen die Heizbarkeit einzelner Gefchoffe aus und laffen auch die fchwächften Schallwellen durch. Ift eine Deckenfchalung in engerem Sinne unter den Balken angeordnet, fo entftehen in den ganz offenen Balkenfeldern beliebte Schlupfwinkel für Ungeziefer.

---

34) Fig. 25 entfpricht etwa der Anordnung des Brookthor-Speichers in Hamburg, wo das Eigengewicht thunlichft gering zu halten war, weil die Stützen ohnedies fchon fehr fchwer wurden.

2) Dübelböden.

25.
Conſtruction.

Dübelböden entſtehen durch Einfügen dicht gelegter ſchwächerer Verbandhölzer zwiſchen die Balken, welche mit einander verdübelt (verdollt) werden. Liegen dieſe Hölzer parallel zu den Balken, ſo werden ſie durch eingezogene hölzerne Wechſel (Fig. 48) oder Bügel aus Bandeiſen (Fig. 49) getragen; liegen ſie winkelrecht zu den Balken, ſo zapft man ſie in dieſe ein (Fig. 50), wobei jedoch die Balken durch Nuthen erheblich geſchwächt werden; dieſe Nuthen ſollen thunlichſt

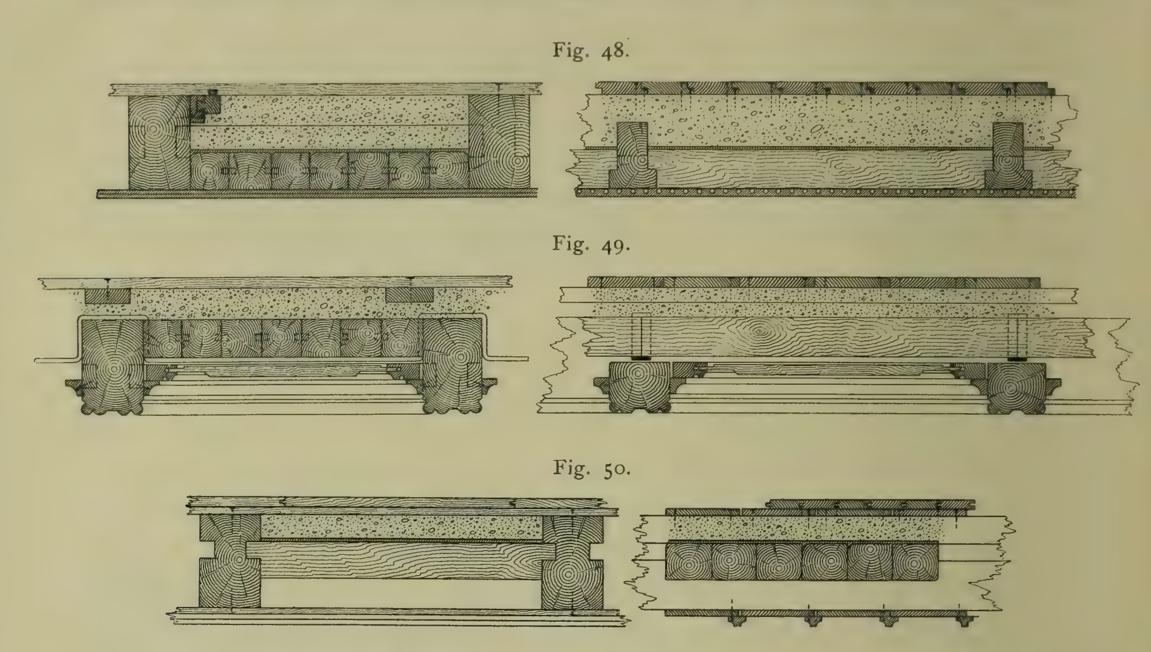


Fig. 48.

Fig. 49.

Fig. 50.

in der Mitte der Balkenhöhe liegen. Die Füllhölzer werden unten bündig mit den Balken gelegt, wenn die Gefache ganz ausgefüllt werden ſollen (Fig. 48); genügt theilweiſe Füllung, ſo legt man ſie weder oben, noch unten bündig (Fig. 50). Will man den bei den beiden vorigen Anordnungen unmittelbar auf die Balken zu lagernden Fuſsboden von dieſen ganz trennen, ſo legt man die Füllhölzer oben bündig und bettet beſondere Fuſsbodenlager von etwa 5×12^{cm} Querſchnittsabmeſſung in eine Sandüberſchüttung ein (Fig. 49). Unter allen Umſtänden ſind auch hier die Fugen der Füllhölzer gut zu verſtreichen. Derartige Zwiſchendecken ſind wegen des Holzaufwandes und der Feuergefährlichkeit ſelten.

3) Windelböden und Wickelböden, Wellerungen und Stakungen.

26.
Conſtruction.

Dieſe Namen bezeichnen ſämmtlich ſolche Ausfüllungen der Balkenfache, welche aus mit Strohlehm umwickelten Weller- oder Stakhölzern hergeſtellt ſind. Man verwendet dazu geſpaltenes Knüppelholz (eichen) oder geſpaltene Schwarten von Eichen-, Tannen- und Kiehnen-Schnitthölzern. Die Umwickelung erfolgt mit Langſtroh, welches, zum Zwecke dichten Schluſſes der Wellerhölzer gegen Wärme und Kälte, mit dünnem Lehmbrei geſättigt iſt. Bei billigerer Ausführung legt man die unumwickelten Stakhölzer auch wohl dicht zuſammen und deckt ſie mit einer Lage von Krummſtroh mit Lehm ab; die Wickelung iſt jedoch vorzuziehen. Ueber

die Wellerung bringt man zur Verbefferung der Dichtigkeit einen an den fchwächften Stellen 2 cm dicken Lehmfchlag, und die fo gefchloffene Ausftakung nimmt dann die eigentliche Füllung oder Bettung auf, nachdem die nafs eingebrachte Lehmmaffe vollkommen ausgetrocknet ift.

27. Füllung.

Als Füllung verwendet man am beften reinen, feinen, trockenen Sand, fchwefelfreie Hochofenfchlacke oder Schlackenwolle. Diefe Stoffe ftäuben wenig oder gar nicht. Nicht fo gut, aber viel im Gebrauch, find Baufchutt, trockene Kohlenafche [35]) und ungewafchener Sand, welche alle viel Staub geben. Die Füllftoffe follen jedenfalls vollkommnn frei von organifchen Beimengungen fein, da fie fonft die Luft in den Räumen verderben. Füllungen mit Sägemehl, Moos, Häckfel u. dergl. find zwar an fich vorzüglich, aber ihrer grofsen Feuergefährlichkeit wegen verboten. Der fehr leichte Torfgrufs fcheint fich — als nicht feuergefährlich — gut zu bewähren.

Ganz befonders geeignet in gefundheitlicher Beziehung ift Kiefelguhr; doch ift deren Preis verhältnifsmäfsig hoch.

Wird ein Fufsboden aufgebracht, fo mufs die Füllung oben die Fufsbodenunterfläche thunlichft in allen Punkten berühren, da ein Hohlliegen der Fufsböden den Lärm des auf ihnen ftattfindenden Verkehres wefentlich verftärkt, wenn der Fufsboden nicht felbft fehr ftark — etwa doppelt — ift.

Auf die richtige Wahl des Füllftoffes wird mit Recht ein ganz befonderer Werth gelegt, und die Schwierigkeit, nach allen Richtungen einwandfreie Füllftoffe zu erhalten, bildet einen der hauptfächlichften Gründe, welche gegen die bisher meift üblichen Ausfüllungen der Balkenfache mit lofen Füllftoffen fprechen.

Neben der Vermeidung von Staubbildung, welche, wie bereits erwähnt, namentlich bei Afche, unreinem Sande und Baufchutt auftritt, und von fäulnifserregender Einwirkung auf die benachbarten Holztheile, welche eintritt, wenn der Füllftoff dauernd Feuchtigkeit aus der Luft auffaugt und organifche Beftandtheile, insbefondere Pilzfporen, enthält, kommt namentlich die Einwirkung des Füllftoffes auf die gefundheitlichen Verhältniffe der Innenräume in Frage.

Einen allen diefen Anforderungen entfprechenden Füllftoff erhält man durch Wafchen und nachfolgendes Ausglühen von Sand, ein Verfahren, das z. B. beim neuen Regierungsgebäude in Hildesheim ftreng durchgeführt wurde [36]).

Die dort verwendete Vorrichtung zum Ausglühen beftand in einem einer Wafferfchnecke gleichenden, geneigt liegenden Trommelofen von 40 cm Durchmeffer und 175 cm Länge, durch welchen der Sand bei der Umdrehung der Trommel von einer Schraubenfläche aus Blech langfam unter ftetem Aufrühren hindurchgefchoben wurde. Die etwa 250 kg fchwere Vorkehrung koftete 150 Mark. Die Stellung des Geräthes und das Ausglühen waren dem Unternehmer vertragsmäfsig aufgegeben.

Befonders beachtenswerth find die Verfuche, welche *R. Koch* über den Einflufs der Füllftoffe, insbefondere der Kiefelguhr (Diatomeen-Erde von Unterlüfs), auf die Entwickelung von Bacterien angeftellt hat [37]).

Koch fand in 1 cbcm der Diatomeen-Erde nur etwa 3 bis 4 Bacterien und ftellte 15,6 Procent Glühverluft feft, worin aber die Verwandelung unorganifcher Stoffe beim Glühen einbegriffen ift. Bei dem Verfuche der Vermengung mit Typhus-, Cholera- und Eiter-Bacillen enthaltender Nährbouillon zeigte fich, dafs die Mifchung mit trockener Kiefelguhr fchwierig war, weil die Bouillon in Tropfen zufammenlief und erft nach langer Zeit aufgefogen wurde; mit feuchter Kiefelguhr erfolgte die Mifchung leicht.

---

[35]) In manchen Theilen Süddeutfchlands verwendet man zur Füllung fog. Steinkohlenlöfch; dies find die Rückftände der Dampfkeffelfeuerungen: Schlacke und Afche; diefer Stoff wird trocken und thunlichft rufsfrei eingebracht.

[36]) Siehe: Centralbl. d. Bauverw. 1889, S. 199.

[37]) Siehe ebendaf., S. 332.

In der trockenen Diatomeen-Erde hatten die Cholerakeime nach 14 Tagen, die Typhuskeime nach 21 Tagen ihre Keimfähigkeit verloren; die Eiterkeime blieben entwickelungsfähig. Bei guter Mifchung mit feuchter Kiefelguhr ftarben dagegen die Cholera-Bacillen fofort, die Typhus- und Eiterkeime nach 8 Tagen ab. Diefes Verhältnifs ift günftig, weil die Bacillen nicht anders, als mit viel Waffer in die Füllung gelangen können. Die Wirkung fchreibt *Koch* der Beimengung von fchwefelfaueren Salzen zu, welche bei der Aufbereitung der Infuforienerde mittels Schwefelfäure entftehen.

Was die Aufnahmefähigkeit von Feuchtigkeit anlangt, fo verhalten fich verfchiedene Füllftoffe, wie folgt. Es enthält an Waffer

	Kiefelguhr	Baufchutt	Afche	getrockneter Sand	
in lufttrockenem Zuftande	7,6	1,7	1,13	0,13	Procent,
bis zum Abtropfen mit Waffer gefättigt . .	223	27,6	86,5	17,5	» .

Danach wird die Kiefelguhr unter Umftänden noch trocken bleiben, unter welchen die übrigen Füllftoffe, namentlich Sand, bereits völlig durchnäfft find. Allerdings erfolgt die Wafferaufnahme bei der Diatomeen-Erde wegen des 86 Procent betragenden Porenraumes fehr langfam, fo dafs bei plötzlichen Ueberfluthungen ein Durchfickern des freien Waffers eintritt. Dagegen wirkt die aufserordentliche Aufnahmefähigkeit für Waffer in längerer Zeit dauernd austrocknend auf die umgebenden Bautheile und Räume ein.

Der Grad des durch die verfchiedenen Füllftoffe erzielten Wärmefchutzes wurde feft geftellt, indem man ein Eifenrohr mit 2 cm Zwifchenraum mit einem Blechrohre umhüllte, den Zwifchenraum mit Füllftoff füllte und dann 45 Grad C. warmes Waffer in das Rohr brachte. Das Waffer kühlte in 110 Minuten ab

in einem Mantel aus	Kiefelguhr	Baufchutt	Afche	Sand	Luft	
auf	39	33,3	35,8	34,3	37,2	Grad C.;

die Diatomeen-Erde ift alfo auch in diefer Beziehung allen anderen Stoffen überlegen.

Das Gewicht von 1 cbm trockener Kiefelguhr ift 302,7 kg, gegen 1762 kg von 1 cbm Sand und 842 kg von 1 cbm Afche; hiernach ift diefe Deckenfüllung auch fehr leicht.

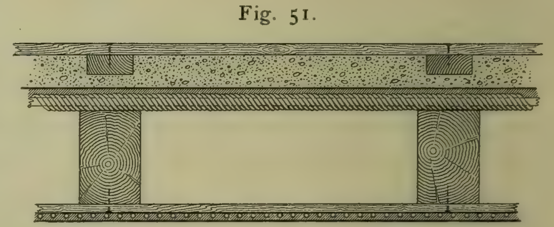
Leider find die Koften bedeutend; 1 cbm Kiefelguhr, rofa geglüht, koftet 15 Mark (befte), ungeglüht mit grauer Farbe 10 Mark [38]).

28. Geftreckter Windelboden.

Je nach der Höhenlage der Wellerung zu den Balken unterfcheidet man den geftreckten, den halben und den ganzen Windelboden.

Der geftreckte Windelboden (Fig. 51) entfteht, wenn man lange Wellerftangen über die Balken hinftreckt. Er wird vorwiegend verwendet, wo es auf billige Herftellung einer warmen Decke ankommt, welche nicht viel zu tragen hat, d. h. in landwirthfchaftlichen Gebäuden; man deckt hier häufig nur einen etwas ftarken Lehmfchlag auf die Wellerung, womit Decke und Fufsboden hergeftellt find. Da hierbei die fchwachen Stakftangen die aufgebrachte Laft nach den Balken übertragen müffen, fo ift die Tragfähigkeit einer folchen Decke fehr gering. Soll ein regelrechter Fufsboden hergeftellt werden, fo bringt man Füllungsmaterial in einer

Fig. 51.



38) Ueber die gefundheitliche Bedeutung des Füllftoffes für die Balkenfache fiehe auch noch:

EMMERICH, R. Die Verunreinigung der Zwifchendecken unferer Wohnräume in ihrer Beziehung zu den ektogenen Infectionskrankheiten. Zeitfchr. f. Biologie 1882, S. 253.

Die Zwifchendecken in Wohnhäufern als Krankheits-Heerde. Deutfche Bauz. 1883, S. 35.

RECKNAGEL. Vortheile und Nachtheile der Durchläffigkeit von Mauern und Zwifchenböden der Wohnräume. Deutfche Viert. f. öff. Gefundheitspfl. 1885, S. 73.

NUSSBAUM, CH. Hygienifche Forderungen an die Zwifchendecken der Wohnhäufer. Archiv f. Hygiene, Bd. 5, S. 264.

Verunreinigung der Zwifchendecken der Wohnräume und ihr Einflufs auf die Gefundheit der Bewohner. Mittel zur Verhütung und Bekämpfung der Verunreinigungen. Wochbl. f. Baukde. 1886, S. 329.

Die hygienifchen und technifchen Anforderungen an Zwifchendecken in Wohngebäuden. Deutfches Baugwksbl. 1887, S. 535.

HEINZELMANN, H. Die Fehlböden (Zwifchendecken). Ihre hygienifchen Nachtheile und deren Vermeidung. München 1891.

FALKENHORST, C. Das Buch von der gefunden uud praktifchen Wohnung. Heft 1: Unfere unfichtbaren Feinde. Leipzig 1891.

Stärke von 8 bis 10 cm (Fig. 51) auf den Lehmfchlag und lagert in diefen die Fufsbodenlager gerade über den Balken ein, um die Laft thunlichft unmittelbar auf diefe zu bringen. Da aber der Fufsboden auf der Füllung liegt und die Lager in letztere eingedrückt werden, fo ift eine Laftübertragung durch die Stakung auch fo nicht ganz zu umgehen.

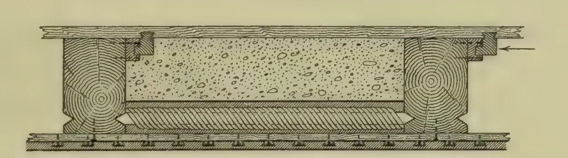
Vortheilhaft ift die Verwendung des geftreckten Windelbodens bei Anordnung von Blindbalkenlagen (Fig. 52), weil die Balkenfache für die Blindbalken ganz frei bleiben, diefe alfo hoch, d. h. leicht ausgebildet werden können. Von allen Windelböden ift der geftreckte auch der leichtefte, belaftet alfo die Balken am wenigften. Durch die vollftändige Auflagerung auf die Balken geht aber den übrigen Decken-Conftructionen gegenüber Höhe verloren, und die defshalb anzuftrebende Dünnheit der Decke beeinträchtigt die Dichtigkeit gegen Wärme und Schall. Die Unzuträglichkeiten, welche aus den völlig hohlen Balkenfachen bezüglich des Ungeziefers entftehen, wurden oben bereits erwähnt.

29. Halber Windelboden.

Der halbe Windelboden (Fig. 52) entfteht, wenn man die Wellerung innerhalb der Balkenfache etwa in halber Höhe der Balken anbringt, fo dafs der Fufsboden

Fig. 52.

Fig. 53.



unmittelbar auf die Balken gelagert werden kann. Die Wellerhölzer werden auf Weller- oder Stakleiften gelagert (Fig. 52) oder in Weller- oder Staknuthen, welche man in entfprechender Höhe an den Balken anbringt, eingefchoben (Fig. 53).

An fich find beide Anordnungen gleichwerthig; jedoch werden die Leiften meift vorgezogen, weil das Annageln derfelben einfacher ift, als das Einftofsen der Nuthen in die meift wahnkantigen Balken. Auf die Wellerung bringt man, wie früher, Lehmfchlag und Füllung. Da der Fufsboden nun unmittelbar auf den Balken ruht, fo ift die Stakung der Laft faft ganz entzogen. Diefe Ausfüllung der Balkenfache ift die bei den Windelböden jetzt am meiften verwendete; fie wird um fo dichter, aber auch um fo fchwerer, je weiter unten man die Stakung einfetzt.

Die fchwachen, meift aus Schwartenbrettern gefpaltenen Wellerhölzer find für Fäulnifsvorgänge günftige Angriffspunkte, und man hat fie daher, nebft den Wellerleiften, vereinzelt wohl durch aus Rechteckeifen gefchnittene Leiften und Stäbe erfetzt [39]), wodurch man felbftverftändlich zu nicht unbeträchtlich höheren Koften gelangt.

Eine gewöhnliche Balkendecke mit halbem Windelboden, Fufsboden und Putzdecke, 35 cm dick, 6 m frei tragend, koftet für 1 qm Grundfläche etwa 15 bis 16 Mark [40]).

30. Ganzer Windelboden.

Der ganze Windelboden (Fig. 53) ift dem vorigen in allen Einzelheiten gleich, unterfcheidet fich von demfelben nur dadurch, dafs die Wellerung genug weit unten angeordnet wird, um die Deckenfchalung einen unter der Stakung angebrachten dünnen Lehmputz in allen Punkten berühren zu laffen. Diefe Ausfüllung der

[39]) Siehe: *Annales des travaux publics*, Bd. 9 (1888), S. 2099.

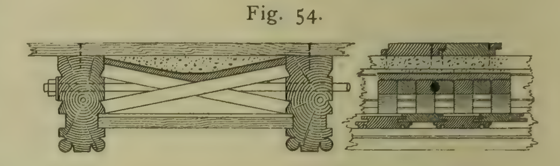
[40]) Siehe: Centralbl. d. Bauverw. 1886, S. 134, 143; 1890, S. 65.

Balkenfache ift die dichtefte, aber auch fchwerfte von allen Windelböden; fie empfiehlt fich daher für gut ausgeftattete Wohngebäude, nicht jedoch an folchen Stellen, wo es auf das Tragen fchwerer Laften ankommt; fie wird übrigens, des grofsen Gewichtes wegen, nur wenig verwendet.

31. Kreuzftakung.

Eine von den vorigen abweichende Art der Stakung ift die Kreuzftakung, bei welcher die meift unumwickelten Stakhölzer mit abwechfelnder Neigung nach links und rechts zwifchen die Leiften oder Nuthen (Fig. 54) der Balken eingefetzt werden. Diefe fchrägen Stakhölzer bilden eine fehr wirkfame Abfpreizung der Bohlenbalken [41]) gegen Kanten und Werfen. Sie wirken wie Streben kleiner Hängewerke, welche die auf einen Balken kommende Laft auf die beiden Nachbarn mit übertragen, fomit die ganze Balkenlage tragfähiger machen.

Fig. 54.



Die wagrechte Seitenkraft diefer Strebendrücke kann von den fchmalen Balken jedoch nicht aufgenommen werden, deren feitliche Durchbiegung die Strebenwirkung aufheben würde. Zur Aufhebung diefer wagrechten Seitenkraft werden daher in Abftänden von etwa 2 m Rundeifenanker durch die Balkenlage gezogen, welche man durch in der Mitte angebrachte Mutterfchlöffer mit Gegengewinde [42]) in Spannung bringt. Um die unbequeme Bohrung aller Balken zu vermeiden, kann man diefe Rundeifenanker zweckmäfsig durch auf und unter die Balken genagelte Bandeifen erfetzen, wie fie für eiferne Balken in Fig. 55 u. 56 angegeben find. Bei Bretterfufsböden wird die Aufhebung der wagrechten Kräfte jedoch auch fchon durch die quer zu den Balken laufenden und an diefe angenagelten Fufsbodendielen, bezw. Deckenfchalbretter bewirkt; unbedingt nothwendig find die Anker alfo nur, wenn folche Bretterlagen ganz oder, wie in Fig. 54, zum Theile fehlen.

Fig. 55.

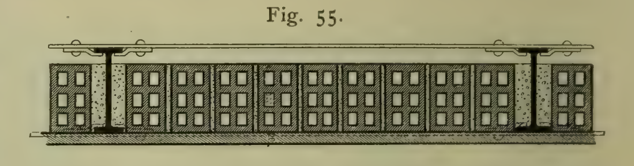
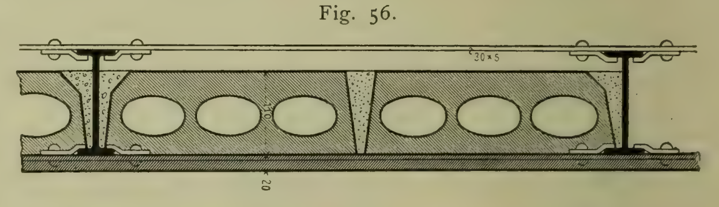


Fig. 56.



Ueber die Stakhölzer bringt man zunächft behufs Schliefsens der gebliebenen Oeffnungen eine Lage von Langftroh mit Lehm und Lehmfchlag, darauf dann die Füllung.

4) Einfchubböden.

32. Conftruction.

Einfchubböden find den Windelböden gleichfalls fehr ähnlich; nur bringt man in die Nuthen oder auf die Leiften der Balken ftatt der Stakhölzer Schwartenbretter. Der Einfchub wird entweder einfach (Fig. 57 u. 58, rechtes Fach) oder als Stülplage (Fig. 59) ausgebildet; bei beiden werden die Fugen forgfältig mit Lehm verftrichen und mit Lehmfchlag überdeckt. Die über diefem liegende Füllung ift meift

41) Siehe: *American engineer* 1887, S. 230.

42) Siehe: Theil III, Band 1 diefes »Handbuches«, Fig. 448, S. 163 (2. Aufl.: Fig. 458, S. 176).

Fig. 57.

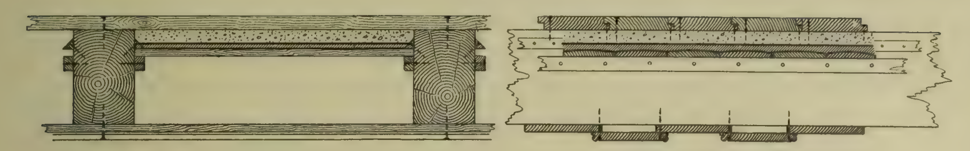
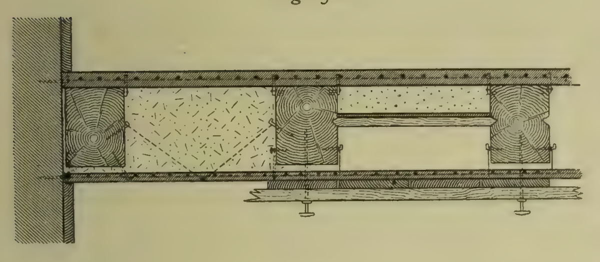


Fig. 58.



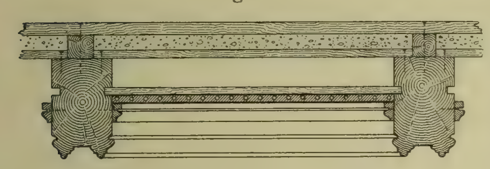
nur wenige Centimeter ſtark, und der gröſste Theil der Balkenfache bleibt frei. Liegen die Einſchubbretter auf Leiſten, ſo wird wohl auch eine dreieckige Leiſte über dieſelben genagelt (Fig. 57), um ein Ausheben der Bretter auszuſchlieſsen. Die Stülpdecke (Fig. 59) hat vor den neben einander liegenden Brettern des einfachen Einſchubes den Vortheil gröſserer Dichtigkeit. Sind Nuthen zum Anbringen des Einſchubes vorgeſehen, ſo muſs man an den Enden der Balken bis auf die Nuthen hinunter Ausſchnitte von Brettbreite anbringen, um die letzten Einſchubbretter in die Nuthen einbringen zu können. Wegen ihrer Leichtigkeit iſt dieſe Einſchubdecke ſehr beliebt und wird häufiger verwendet, als der halbe Windelboden, dem ſie jedoch an Dichtigkeit nachſteht.

Fig. 59.



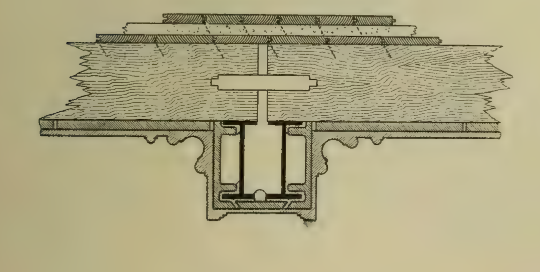
Ganz beſonders leicht kann die in Fig. 60 dargeſtellte Abart dieſer Decke hergeſtellt werden. Hier ruhen die Bretter oben auf den Balken zur Seite oder unterhalb (Fig. 61) kleiner, den Fuſsboden tragenden Auffchieblinge; nach Verſtrich der Bretter wird der entſtehende Zwiſchenraum zwiſchen den Auffchieblingen mit Füllung geſchloſſen. Dieſe Decke iſt weder gegen Schall noch Wärmeübertragung dicht, belaſtet aber die Balken ſehr wenig und wird daher in ſolchen Gegenden verwendet, wo der ſchlechte Untergrund thunlichſt leichte Anordnung aller Gebäudetheile verlangt.

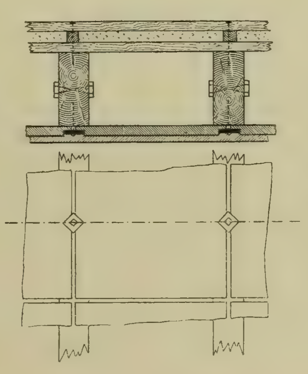
Fig. 60.



Beſonders ſchwer wird die Decken-Conſtruction, wenn man, wie dies in Oeſterreich üblich iſt, die Stülpdecke — dort Sturzboden genannt — auf die

Fig. 61.





Balken aufnagelt, alsdann die Füllung aufbringt und in letztere die Fufsbodenlager verlegt. Die Dichtheit einer folchen Decke ift eine grofse, aber auch die für diefelbe erforderliche Conftructionshöhe eine bedeutende.

33. *Rabitz*'s Balkendecken.

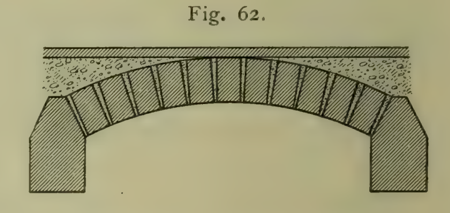
Eine in der Zufammenfetzung fehr einfache Balkendecke, welche einen hohen Grad von Feuerficherheit befitzt und weder Wellerung, noch Einfchub erfordert, ift die nach dem Patent *Rabitz* conftruirte (Fig. 58 linkes Fach[43]). Auf die in Art. 44 zu befprechende Deckenputzlage wird unmittelbar eine die Balken auch unten noch umgreifende Fachfüllung aus Torfftreu gebracht, welche das Balkenfach bis oben hin füllt. Da Torfftreu an fich nicht leicht und nur bei ftarker Luftzuführung brennt, die Füllung hier durch die widerftandsfähige Putzlage noch fehr wirkfam vor Hitze und Luftzug gefchützt wird, fo ift von diefer Decke in der That eine gute Wirkung bei Feuersbrünften zu erwarten, wenn auch von oben her für den erforderlichen Schutz geforgt ift, wie in Fig. 58 durch den nach *Rabitz* hergeftellten Fufsboden. Die Decke ift dabei fehr leicht und auch warm und dicht.

5) Befondere Anordnungen.

34. Decken mit Wölbkappen.

In Fällen, wo befondere Dichtigkeit der Decken verlangt wird (z. B. zwifchen Ställen und Futterböden) hat man zwifchen die Balken gewölbte Kappen aus Backfteinen eingefetzt. Die Anordnung ift nicht zu empfehlen, da die Balken durch das Anfchneiden der Kämpferflächen wefentlich gefchwächt (Fig. 62) und durch das Abfchliefsen gegen die Luft mittels die Feuchtigkeit anfaugenden Mauerwerkes der Gefahr fchnellen Faulens ausgefetzt werden. Der Bogenfchub ift, wenn er nicht durch die Umfaffungswände aufgehoben werden kann, durch eiferne Verankerungen aufzunehmen.

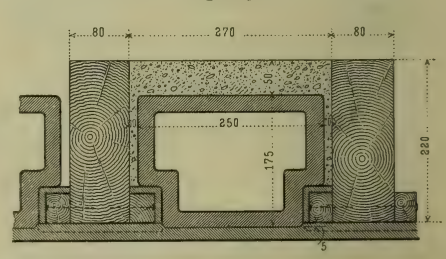
Fig. 62.



35. Decken von *Laporte*.

Mehr ift die in Fig. 63 dargeftellte Art der Fachausfüllung mit Hohlfteinen, Syftem *Laporte*, zu empfehlen, welche wegen der nicht fehr grofsen Abmeffung der gebrannten Hohlfteine eine eng getheilte Balkenlage aus Bohlenbalken (fiehe Art. 21, S. 35) vorausfetzt. Diefe Anordnung, bei welcher die Unterflächen der Steine zur Aufnahme des Putzes gerieft, die Balken in gewöhnlicher Weife berohrt oder mit Pliefterplatten benagelt fein müffen, ift in Frankreich vielfach ausgeführt[44]).

Fig. 63.



Derartige Decken find vergleichsweife leicht und haben den grofsen Vorzug, trotz der hölzernen Balken wenigftens von unten faft vollftändig vor Feuer gefchützt zu fein. In Deutfchland können die grofsen hohlen Thonformen bislang nur zu hohem Preife bezogen werden, da ihre Anfertigung nur von wenigen Thonwerken auf Beftellung erfolgt. Die *Grande Tuilerie de Bourgogne* zu Montchanin-les-Mines liefert 1 qm der hohlen Terracotten zu etwa 3 Mark.

---

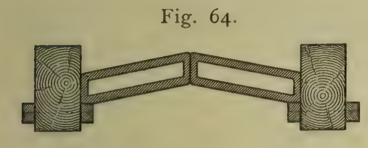
[43]) D. R.-P. Nr. 3789.

[44]) Hohle Terracotten nach Patent *Laporte* liefert die *Grande Tuilerie de Bourgogne* in Montchanin-les-Mines. — Ueber derartige Decken fiehe: Deutfche Bauz. 1886, S. 202. — *Annales induftrielles* 1885, II, S. 39. — *Annales des travaux publics*, Bd. 9 (1888), S. 2119. — *Le génie civil*, Bd. 16 (1890), S. 316.

36.
Andere Ausfüllungen mit Thonplatten.

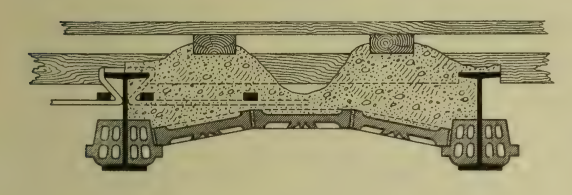
Eine ähnliche Anordnung mit Hohlſteinen zeigt auch Fig. 64, nach welcher auch breitere Gefache ausgefüllt werden können. Hier iſt für den Deckenputz beſondere Schalung anzubringen, und der Vortheil des Schutzes gegen Feuer entfällt.

Fig. 64.



Derartige Plattenwölbungen, für welche die Widerlager durch entſprechend geformte ſeitliche Einſchubleiſten an den Balken gewonnen werden, können aus hohlen Platten oder einfachen oder auch doppelten Lagen voller Platten mit Luftzwiſchenraum auch in der Weiſe ausgebildet werden, daſs man die Wölbung wie in Fig. 65 aus mehr als zwei Platten in jedem Balkenfache herſtellt [45]. Die von unten ſichtbaren Platten werden in Frankreich und Belgien verziert und glaſirt. Ein beſonderer Schutz der Balken gegen Feuer erſcheint nicht erforderlich, weil die in Gyps verſetzten und mit Gyps überdeckten Platten doch keine feuerſichere Decke ergeben, da der Gyps bei mäſsiger Hitze ſchon zerfällt.

Fig. 65.



Hierher gehört auch die gleichfalls aus Frankreich und Belgien ſtammende Ausfüllung mit den Dachziegeln ähnlichen Thonflieſen [45], wie ſie in zwei Ausbildungen in Fig. 66 u. 67 dargeſtellt ſind.

Fig. 66. Fig. 67.

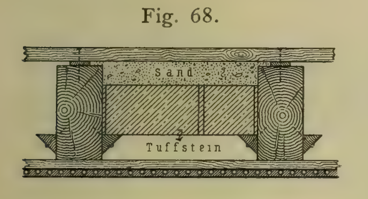
Fig. 66 zeigt eine Zwiſchendecke aus zwei Reihen mit Gyps verſtrichener, gegen einander gelehnter Thonflieſen, unter der dann eine der Dichtigkeit wegen mit Gyps überfüllte Deckenſchalung zu beſonderer Ausbildung der Decke angebracht iſt. In Fig. 67 bleiben die Balken unten ſichtbar und ſind daher verziert; die hier wagrecht aufgelegten vertieften Thonflieſen ſind unten glaſirt, gegen die Balken mit Gyps verſtrichen und geeignet, zur Erhöhung der bei der dargeſtellten Conſtruction nur geringen Dichtigkeit eine Lage Füllſtoff aufzunehmen. Dieſe Decken ſind aufserordentlich leicht, aber auch wenig dicht.

Solche Decken ermangeln der Feuerſicherheit gänzlich, und in Fig. 67 wirkt auch die aus ſchmalen, vertieften Feldern gebildete Unteranſicht nicht ſehr günſtig.

37.
Ausfüllungen mit leichtem Steinmaterial.

Einen erheblich billigeren Erſatz der Ausfüllungen mit hohlen Terracotten durch einheimiſche Bauſtoffe bietet die Ausfüllung mit rheiniſchen Tuff- oder ſonſtigen leichten Schwemmſteinen (Fig. 68), welche nahezu eben ſo leicht und nicht minder dicht für Wärme und Schall iſt, als die Terracotta-Decke [46]. Da man die Balkenfache bei $1\frac{1}{2}$ Stein Spannweite mit Steinen ausſetzen kann, ohne Schübe auf die Balken fürchten zu müſſen, ſo kann die Balkentheilung weiter gewählt werden, als bei der Anordnung in Fig. 63. Die Sicherung der Balken gegen Feuer iſt in Fig. 68 derjenigen in Fig. 64 gleichwerthig. Die Tragfähigkeit der Schwemmſtein-Ausfüllung iſt bei der geringen Feſtigkeit dieſer Steine kleiner, als die der Terracotta-Decken; doch kommt dieſer Unterſchied hier nicht in Betracht, da bei der geringen Balkentheilung aller dieſer Anordnungen die Fuſsbodenbretter die Laſten ganz auf die Balken übertragen und die Füllung nahezu unbelaſtet bleibt.

Fig. 68.



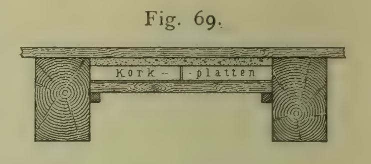
[45]) Siehe: *Annales des travaux publics*, Bd. 9 (1888), S. 2118.

[46]) Siehe: Deutſche Bauz. 1886, S. 3.

Eine ausgezeichnete Fachausfüllung, welche neuerdings viel Verwendung findet, ergeben die *Mack*'fchen Gypsdielen [47]. Die Decke nach Fig. 71 koftet, mit Gypsdielen (ftatt der in die Abbildung eingetragenen, weiter unten zu befprechenden Spreutafeln) ausgeftattet, etwa 13,5 Mark für 1 qm [48]. Die Dielen werden auf Wellerleiften verlegt und in den Fugen mit Gyps verftrichen. Liegen fie oben bündig, fo kann man hölzerne Fufsbodentheile unmittelbar auf fie auffchrauben; unten mit den Balken bündig liegende können unmittelbar den Deckenputz aufnehmen, wenn man die Balkenunterflächen vorher berohrt hat. Die Tragfähigkeit genügt felbft für grofse Weiten der Balkenfache. Derlei Decken find fehr leicht, dicht und warm, zwar wegen des Zerfallens des Gypfes in der Hitze nicht feuerficher, doch aber ziemlich widerftandsfähig gegen Feuer, weil auch der zerfallene Gyps die zähen Beimengungen noch leidlich fchützt und einigen Zufammenhalt wahrt.

Eben fo dicht und warm, noch leichter, aber weniger feuerficher und tragfähig ift die Füllung mit Korkfteinen [49], welche wegen der geringen Tragfähigkeit einer Unterlage von Stakhölzern oder Einfchubdielen bedürfen (Fig. 69). Die Fugen der Platten find zu verftreichen, und über den Platten wird noch eine wenige Centimeter ftarke Füllung eingebracht. Abgefehen von der Unterlage von Wellerhölzern ift diefe Decken-Conftruction jener aus Gypsdielen faft ganz gleich; letztere erfcheint aber wegen der gröfseren Tragfähigkeit und wegen der Möglichkeit unmittelbaren Befeftigens der übrigen Theile überlegen.

Fig. 69.

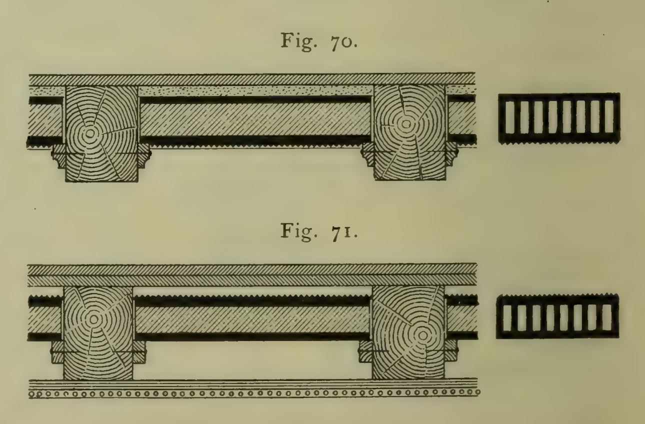


Nahe verwandt den Gypsdielen find die Spreutafeln von *Katz* [50]. Die Bearbeitung mit Säge und Meffer ift, wie bei Holz möglich; auch haften Holzfchrauben vollkommen in der Maffe. Eine Seite der Tafeln wird rauh geformt, damit fie Deckenputz unmittelbar aufnehmen können.

Wie Fig. 70 u. 71 zeigen, erfolgt die Deckenausbildung nach Art der halben Windelböden, bezw. Einfchubdecken durch Auflagern der Spreutafeln auf Wellerleiften mit oder ohne Füllung, je nachdem die Art des aufzulegenden Fufsbodens es erfordert. Die Anordnung nach Art des ganzen Windelbodens (Fig. 72), bei der kein Platz für Wellerleiften vorhanden ift, wird ermöglicht, indem man verzinkte Drähte, entweder winkelrecht zu den Balken d_1 oder im Zickzackmufter d_2, in etwa 10 cm Abftand ftraff unter die Balken nagelt. Die Zickzackführung hat den Zweck, die Drähte nachträglich recht ftraff fpannen zu können. Auf diefes Drahtnetz werden die Spreutafeln *s* lofe aufgelegt. Die Fugen zwifchen den Tafeln und an den

Fig. 70.

Fig. 71.



[47]) Siehe über diefelben Theil III, Band 2, Heft 1 (Art. 171, S. 196) diefes »Handbuches«.

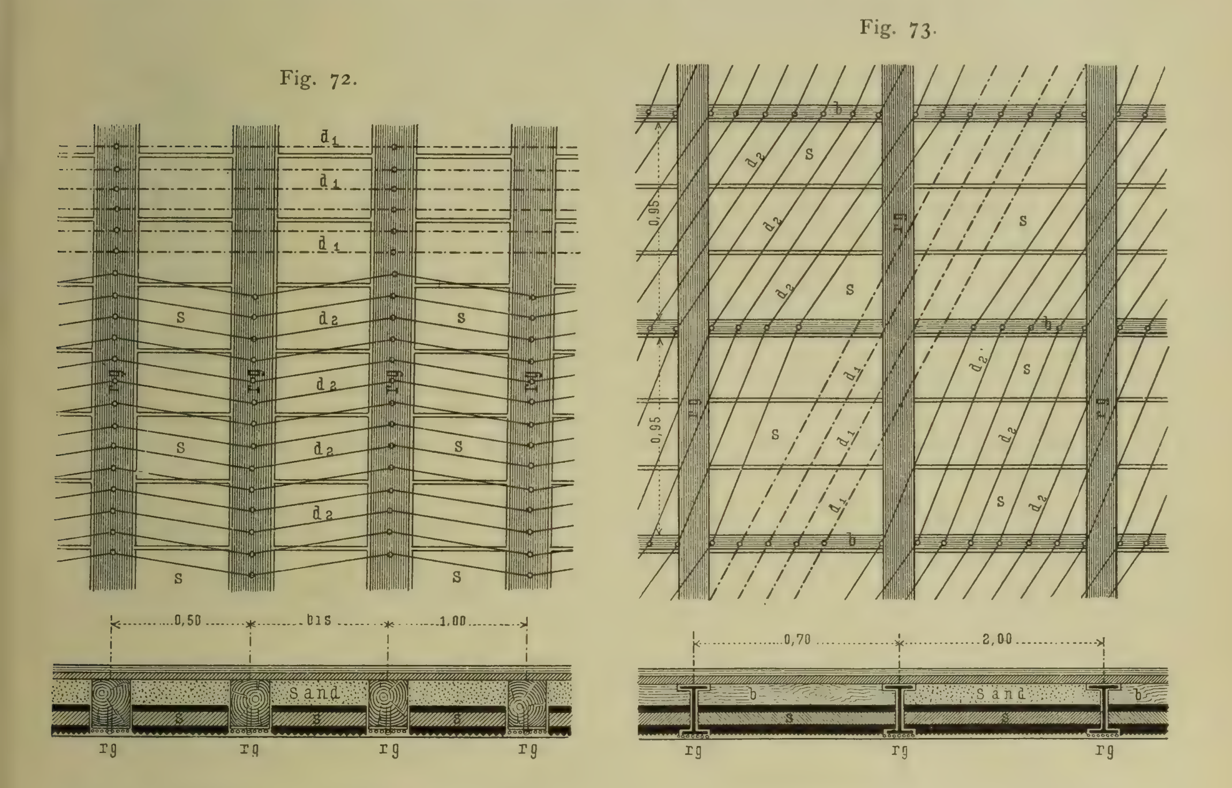
[48]) Siehe: Deutfche Bauz. 1890, S. 7.

[49]) Siehe über diefelben Theil III, Band 2, Heft 1 (Art. 167, S. 194) diefes »Handbuches«.

[50]) Siehe über diefelben ebendaf., Art. 172, S. 196.

Balken werden auch hier mit Gyps verſtrichen, ſo daſs jedes Durchrieſeln der Füllung ausgeſchloſſen iſt. Auch dieſe Decken-Conſtruction iſt leicht, dicht und warm, jedoch nur wenig feuerbeſtändig.

Bei Belaſtungsverſuchen mit gleichförmig vertheilter Laſt zeigten ſich bei 80 cm Balkenentfernung auf den Anordnungen in Fig. 72 u. 73 die erſten feinen Riſſe im



unteren Deckenputze bei 670 kg für 1 qm; erſt bei 1000 kg für 1 qm erreichten ſie beträchtliche Gröſse [51]).

38. Amerikaniſche Ausfüllungen.

In Amerika iſt ein ganz eigenartiger feuerſicherer Bauſtoff in ausgedehntem Gebrauche, welcher, auf die Balken genagelt, dieſe von oben vor dem Feuer völlig ſchützt und bei ſehr geringem Gewichte als Erſatz der Fachausfüllungen ſehr leichte Deckenanordnungen liefert. Es iſt dies ein mit Sägemehl gemengter gebrannter, daher in fertigem Zuſtande ſtark poriger Thon, welcher, wenn aus ſandigem Thone angefertigt, *Porous terracotta*, aus ſandfreiem Thone hergeſtellt, *Terracotta lumber* [52]) genannt wird. Dieſe porigen Thonplatten beſitzen groſse Dichtigkeit gegen Wärme und Schall, ſind erheblich ſicherer gegen Feuer, als dichter Backſtein, haben ziemlich hohe Tragfähigkeit und ſchlieſslich die ſchätzbare Eigenſchaft, ſich wie Holzplatten nageln zu laſſen. Dieſe Platten werden auf eng getheilten ſchmalen Bohlenbalken verlegt (Fig. 74) und genagelt, in den ſtumpfen Fugen mit Cement gedichtet und vom Fuſsboden unmittelbar überdeckt, welcher durch

Fig. 74.

Papier
Poröse Terracotta
Harte Thonplatte
Putz

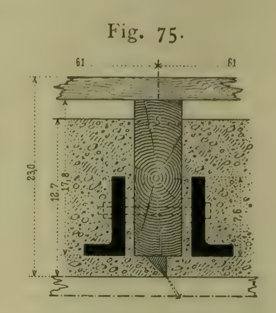
[51]) Die Druckfeſtigkeit der Spreutafeln beträgt 18,3 kg für 1 qcm des vollen Querſchnittes.

[52]) Siehe: *American engineer* 1887, S. 230.

die Thonplatten genagelt wird. Die Eigenfchaften diefer billig herzuftellenden Platten find in jeder Beziehung höchft fchätzbare, und der Verfuch, diefelben auch bei uns einzuführen, würde vorausfichtlich erfolgreich fein.

Betonausfüllungen, welche bei Verwendung eiferner Balken jetzt fehr gebräuchlich find, wurden zur Herftellung feuerficherer Decken aus hölzernen Bohlenbalken von *Furnefs* [53]) in Philadelphia in erheblicher Ausdehnung eingeführt, z. B. im Univerfitätsgebäude des Staates Pennfylvania (Fig. 75).

Fig. 75.



Gleichzeitig zur Verftärkung der 5,2 m weit frei tragenden Balken und um ein Auflager für den Beton zu fchaffen, wurden beiderfeits ungleichfchenkelige Winkeleifen mit 8 mm dicken Bolzen in 61 cm Theilung an die Balken gebolzt. Die Winkeleifen find in der Mitte um 7,6 cm nach oben durchgebogen und werden durch 10 mm dicke, auf die Bolzen gefteckte Ringe fo weit von den Balken fern gehalten, dafs noch eine Cementfchicht behufs vollftändiger Einhüllung der Bohlenbalken zwifchen beide eingebracht werden kann. Unten find Dreiecksleiften unter die Balken genagelt, an denen eine Einfchalung blofs zum Einftampfen des Betons, wenn man diefen unmittelbar abputzen will, fonft als Deckenfchalung befeftigt wird. So wird eine faft vollkommene Einhüllung der Balken auch von unten her möglich. Da nun nach den neueften Erfahrungen [54]) eine Feuersgefahr für die Decken überhaupt beinahe ausfchliefslich von unten her vorliegt und ein hölzerner Fufsboden von oben her felbft bei ftarker Feuersbrunft nur wenig angegriffen wird, fo ift durch diefe Anordnung in der That ein hohes Mafs von Feuerficherheit erreicht.

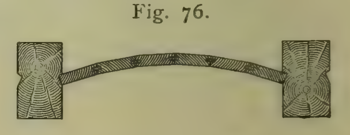
Die von *Furnefs* im Univerfitätsgebäude zu Philadelphia ausgeführten Abmeffungen find in Fig. 75 angegeben. Der Cement wurde aus 1 Theil Portland-Cement, 3 Theilen Sand und 3 Theilen Steinfchlag gemifcht. Die Decke, in der die Betonftärke fehr reichlich bemeffen erfcheint, koftete in der angegebenen Ausbildung 16,4 Mark für 1 qm Grundfläche bei den hohen amerikanifchen Preifen. Bei Belaftungsverfuchen wurde mit einer Laft von 735 kg auf 1 qm noch keine bleibende Wirkung an einem der Theile diefer Decke erzielt.

Die Anordnung empfiehlt fich, wie die in Fig. 74 dargeftellte, an folchen Stellen zur Nachahmung, wo man trotz hölzerner Balken Feuerficherheit verlangt, und zwar ift die Decke nach *Furnefs* (Fig. 75) leichter herzuftellen, weil fie keinen aufsergewöhnlichen Bauftoff verlangt, wie in Fig. 74.

39.
Daubenfüllung.

In leichten Holz-Architekturen findet fich in einzelnen Gegenden (Schwarzwald) eine gefederte Daubenfüllung (Fig. 76), welche fich gewölbeartig zwifchen die Balken fpannt und durch etwas keilförmig gefchnittene Scheitelfchlufsfedern feft eingeklemmt wird. Die Anordnung giebt keine gute Dichtung, ift fehr feuergefährlich und daher felten.

Fig. 76.



6) Wandanfchlufs der Fachausfüllung.

40.
Wandanfchlufs.

Bei allen Ausfüllungen der Balkenfache ift ein dichter Anfchlufs an die Wände fehr wichtig und bedarf befonderer Aufmerkfamkeit. Ift diefer Wandanfchlufs nicht gut, fo riefelt die Füllung durch die an den Wänden befonders leicht entftehenden Riffe des Deckenputzes, fo dafs in den darunter liegenden Räumen ein fortwährender Sandregen an den Wänden entfteht. Auch für Schall und Wärme ergeben diefe Wandfugen günftige Durchgangsöffnungen.

An denjenigen Wänden, in welche die Balkenköpfe eingelagert find, ergiebt fich die Abdichtung von felbft, wenn man nur dafür forgt, dafs die letzten Stücke

53) Siehe: *Engng. news*, Bd. 25 (1890), S. 368.
54) Vergl.: Centralbl. d. Bauverw. 1888, S. 3.

der Fachausfüllung feft gegen die Wand gekeilt, bezw. geftampft werden und dafs z. B. die Fugen zwifchen Thonplatten und der Wand guten Verftrich erhalten; hier ift die Abdichtung gegen die Wand nicht fchwieriger, als in der Fachausfüllung felbft.

Befondere Vorficht verlangen aber die Anfchlüffe an diejenigen Wände, an denen Streichbalken (*9* u. *16* in Fig. 37, S. 30) oder Streichwechfel (*13* in Fig. 37) hinftreichen. Legt man diefe ftumpf gegen die Wand, fo bleibt ftets wegen der Unebenheit beider Theile eine offene Fuge, welche gewöhnlich zu eng ift, um ficher gefchloffen werden zu können, und welche fich fpäter in Folge Eintrocknens des Balkens noch erweitert. Man lege daher hier nach Fig. 7 (S. 6) den an der Aufsenfeite fchräg abgefchnittenen Streichbalken etwa 4 cm von der Wand ab, fchlage den Zwifchenraum mit roh keilförmig behauenen Backfteinen oder Holzleiften aus, welche auch nach dem Eintrocknen des Balkens in Folge des anfänglichen Einkeilens feft bleiben werden, verftreiche deren Fugen und bringe fchliefslich nach Bedarf noch Füllung auf. In folcher Weife kann ein auf die Dauer völlig ficherer Wandanfchlufs auch an diefen Seiten erzielt werden.

c) Decke im engeren Sinne.

41.
Ueberficht.

Die Decke bildet den oberen Abfchlufs des unterliegenden Raumes; fie kann aus den übrigen vorher befprochenen Theilen, d. h. der Fachfüllung und den Balken, beftehen oder befonders ausgebildet fein, ift überhaupt mehr ausfchmückender als nothwendiger Bautheil.

Eine befondere Ausbildung der Decke fehlt jedoch nur in den untergeordnetften Räumen, z. B. in Lagerräumen, wo auf den Balken nur ein Fufsboden ruht (Fig. 15, S. 11 u. Fig. 25, S. 20), oder in landwirthfchaftlichen Bauten, wo z. B. der unten glatt abgeftrichene geftreckte Windelboden (Fig. 51, S. 40) auch die Decke bilden kann.

In den weitaus häufigften Fällen erhält die Decke eine befondere Ausbildung, und zwar im Wefentlichen nach den im Nachfolgenden befchriebenen Anordnungen. Weitere Einzelheiten über Deckenausbildung, insbefondere über die mehr decorative Behandlung der Deckenflächen, bringt Theil III, Band 3, Heft 3 diefes »Handbuches«.

42.
Verfchalte und geputzte Decken.

1) Am häufigften kommt wohl die verfchalte und geputzte Decke (Fig. 40, 48, 51 bis 53, 60, 68 u. 71) zur Anwendung. Bereits in Theil III, Band 2, Heft 1 (Art. 178, S. 200 u. Art. 203, S. 244) diefes »Handbuches« wurde über die Bekleidung von Holzwerk mit Putz Mehrfaches mitgetheilt. Unter Hinweis auf die eben angezogenen zwei Stellen ift hier das Folgende zu fagen. Unter die Balken wird eine 2 cm ftarke, ftumpf geftofsene Schalung aus ungehobelten, häufig fogar alten Brettern genagelt. Damit das Werfen und Reifsen der Bretter dem Putz nicht fchädlich werde, dürfen die Schalbretter nur fchmal fein oder müffen vielfach gefpalten werden. Auf diefe Schalung ftreckt man winkelrecht zur Faferrichtung der Schalbretter rund 8 mm ftarke Putzrohrftengel (Fig. 40, 48, 51, 52, 60, 68 u. 71) in etwa 2,5 cm Abftand und befeftigt diefe durch geglühte Eifendrähte, welche in 10 bis 12 cm Abftand von einander gefpannt und je hinter dem dritten Rohrftengel mit breitköpfigen, gefchmiedeten Rohrnägeln an die Schalung genagelt werden. Da diefe Nagelung an verfchiedenen Drähten in verfchiedenen Rohrzwifchenräumen erfolgt, fo hängt fchliefslich jeder Stengel unbeweglich in den Drahtfchlingen. Wegen der faft

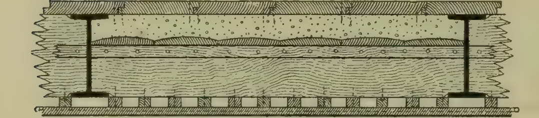
vollkommenen Raumbeſtändigkeit gut getrockneten Rohres iſt dieſes Mittel zur Befeſtigung des Putzes auf Holz beſonders geſchätzt.

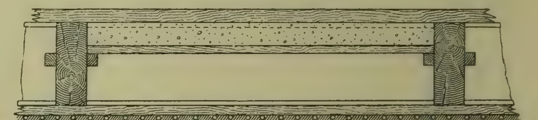
In Gegenden, wo Rohr nicht zu haben iſt, treten an ſeine Stelle häufig ſog. Wurf- oder Plieſterlatten (Fig. 53), d. h. trapezförmige, etwa 12 bis 15 mm dicke und in der Mitte 20 bis 25 mm breite Tannenlatten, welche gleichfalls quer zur Faſerrichtung der Schalbretter unter dieſe genagelt werden; ſtatt ſo geſtalteter Latten verwendet man auch ſolche mit Längseinſchnitten und -Nuthen [55]. Derartige Latten ſind minder gut als Rohr, weil ſie beim Putzen feucht werden, ſich ſpäter zuſammenziehen und ſo die Haftfeſtigkeit des Putzes beeinträchtigen.

Beſſer, aber theuerer und daher noch ſeltener ſind Putzknöpfe, 12 bis 15 mm dicke abgeſtumpfte Kegel von etwa 3 cm mittlerem Durchmeſſer, mitten durchbohrt, aus gebranntem Thon, welche im Quincunxmuſter mit je einem Nagel, die kleinere Grundfläche nach oben, unter die Schalung genagelt werden.

Alle drei Mittel dienen dazu, den nun einzubringenden glatten, gefilzten und geſchlemmten Deckenputz aus Weiſskalk, Gyps oder einem Gemenge beider zu mechaniſchem Anhaften an der Holzfläche der Schalung zu zwingen. Da die loſen, unter der Schalung liegenden, raumbeſtändigen Putzſtengel die Bewegungen der Schalbretter nicht mitmachen, was bei den Putzknöpfen und bezüglich der Nagelung auch bei den Plieſterlatten der Fall iſt, ſo ergeben ſie die beſte Befeſtigung des Putzes.

Fig. 77.





Ein Beiſpiel der Herſtellung einer geputzten Decke auf Lattung ſtatt auf voller Schalung zeigt Fig. 77, wobei weſentliche Abweichungen von dem vorſtehend Geſagten nicht vorkommen.

Es werden auch von einer Reihe von Fabriken patentirte Gewebe aus Draht und Rohrſtengeln oder Holzleiſten geliefert [56], welche unter der Schalung, die dann auch durch eine weite Lattung erſetzt werden kann, ausgerollt und genagelt werden und eine beſonders ſchnelle und bequeme Vorbereitung derſelben für die Putzherſtellung ermöglichen; ſie liefern daſſelbe Ergebniſs, wie die mühſamere Berohrung [57].

Von der Decke nach unten vorſpringende Unterzüge werden entweder gleichfalls mit Rohrabſchnitten winkelrecht zur Faſerrichtung gerohrt und geputzt oder glatt gehobelt, profilirt und bemalt.

Soll eine Deckenfläche geputzt werden, welche an ſich geeignet erſcheint, den Putz unmittelbar aufzunehmen, wie z. B. eine Decke aus Gypsdielen oder Spreutafeln (Fig. 72 u. 73), Beton, Gyps

Fig. 78.

[55]) Vergl. Fig. 405 (S. 245) in Theil III, Band 2, Heft 1 dieſes »Handbuches«.

[56]) Z. B. von *Stauſs & Ruff* in Cottbus, *Ernſt Loth & Co.* in Halberſtadt (D. R.-P. Nr. 10891 u. 22033) etc.

[57]) Siehe über ſolche Gewebe und Geflechte auch Theil III, Band 2, Heft 1 (Art. 203, S. 245 u. 246) dieſes »Handbuches«.

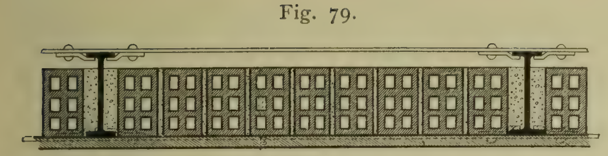


Fig. 79.

oder Backſtein (Fig. 78 bis 82) oder einer Mörtelfläche (Fig. 83), liegen in der Deckenfläche aber die Unterflächen von hölzernen oder auch eiſernen Balken zu Tage, ſo muſs man den unter den Balkenflächen anzubringenden Putz zunächſt — etwa mittels eines Streifens Dachpappe — vom Balken abſondern, damit deſſen Bewegungen unter der Wirkung von Veränderungen des Feuchtigkeitsgehaltes, bezw. der Wärme den Putz nicht zerſtören. Auſserdem muſs ein Haftmittel unter den Balken, wie unter der Deckenſchalung angebracht werden, das bei Holzbalken aus quer gelegten kurzen Abſchnitten von Putzrohr oder Plieſterlatten, aus Thonknöpfen oder einem ſchmalen Streifen der oben erwähnten Putzgewebe beſteht, bei eiſernen Balken in der Regel aus einem an den benachbarten Deckentheilen zu befeſtigenden Streifen Drahtgewebe. Trotz dieſer Vorkehrungen machen ſich aber die Balken-

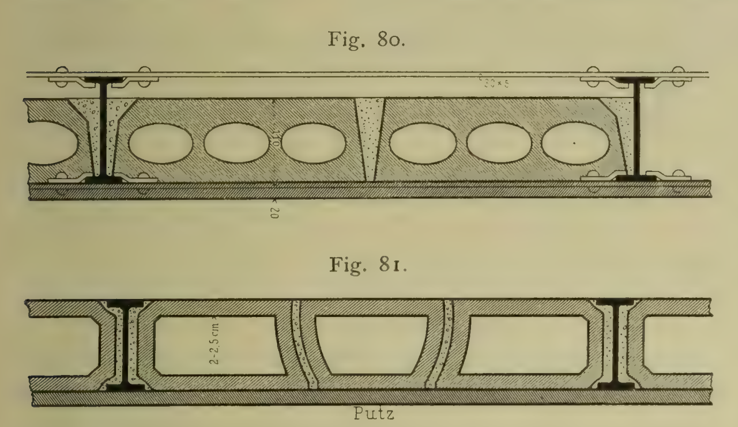


Fig. 80.

Fig. 81.

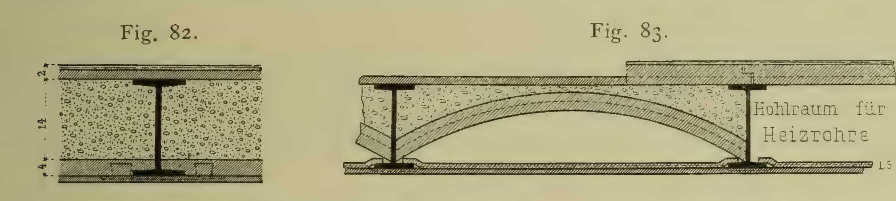


Fig. 82.

Fig. 83.

unterflächen in ebenen Putzflächen in der Regel durch Riſſe im Putz kenntlich. Man thut daher gut, das unmittelbare Anbringen von Putz unter den Balken zu vermeiden, wozu verſchiedene Mittel weiter unten angegeben werden. Iſt ein derartiges Anbringen nicht zu umgehen, ſo richte man die Deckenbemalung ſo ein, daſs unter ihr die bei guter Ausführung jedenfalls nur feinen Riſſe verſchwinden.

Das Putzen geſtattet Ausſchmückung durch Malerei und Stuck und gewährt auch einen geringen Schutz der Balken gegen den erſten Feuerangriff; einer irgend wie erheblichen Feuersbrunſt widerſteht eine ſolche Decke jedoch nicht.

43.
Decken mit vertieften Putzfeldern.

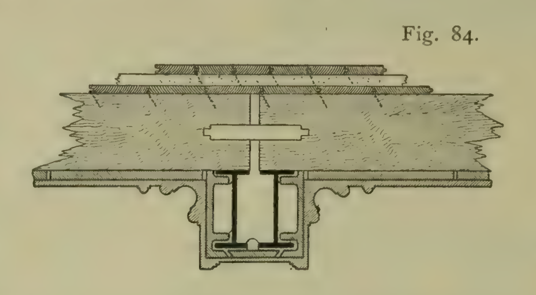
2) Eine Abart dieſer Decke bildet die Decke mit vertieften geputzten Balkenfeldern (Fig. 60, S. 43), bei welcher die Deckenſchalung als Einſchub in Nuthen ausgebildet, der Grund der entſtehenden vertieften Felder geputzt, die Balkenunterſeite aber gehobelt und profilirt wird. An den Wänden und etwaigen Unterzügen kehrt die Balkenprofilirung mittels eingeſetzter Balkenwechſel wieder — ein Mittel, das auch zur Theilung allzu langer Balkenfache in kürzere Felder angewendet werden kann.

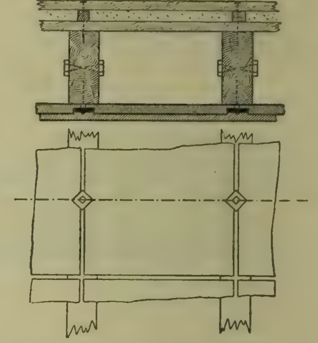
44.
Putz auf Thontafeln.

3) Putz auf gebrannten Thontafeln (Fig. 74 u. 84) wird in Amerika zur Erzielung von Feuerſicherheit verwendet. Die Balkenlagen beſtehen aus eng ge-

legten Bohlenbalken, unter welche mittels eiferner Unterlagsplättchen unten rauhe Tafeln aus gebranntem Thon mit (Fig. 74) oder ohne (Fig. 84) Zwifchenraum genagelt werden. Die Unterlagsplättchen verfchwinden in Vertiefungen, welche in den Mitten der unter den Balken liegenden Seiten der Thonplatten angebracht find. Auf diefem Thonbelag wird der Deckenputz mit oder ohne Profilirungen, wie auf Mauerwerk hergeftellt [58]).

Fig. 84.





Von den beiden Anordnungen in Fig. 74 (S. 47) u. 84 ftellt die letztere das *Syftem White*, die erftere das *Pioneer-fyftem* dar. Letzteres (Fig. 74) ift das gegen Feuersgefahr wirkfamere, weil die Deckenplatte nicht unmittelbar unter dem Balken liegt, alfo die Hitze beffer fern hält. Diefer Abftand wird durch Einfetzen der Befeftigungsnägel oder Schrauben in kleine Eifenröhrchen gefichert. Bei der Anordnung in Fig. 74 find aufserdem die eifernen Befeftigungstheile nicht blofs durch den Putz, fondern noch durch einen Luftraum über dem Putze vor der Hitze gefchützt.

Ein Bedenken gegen beide Anordnungen liegt in der Befeftigung einer ziemlich fchweren Tafel mit nur wenigen Nägeln oder Schrauben von unten unter den Balken.

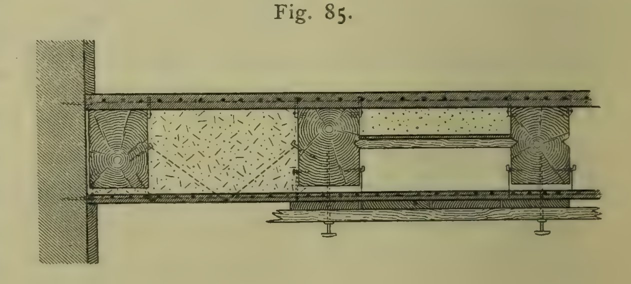
Wird die Befeftigung hinreichend dauerhaft ausgeführt, fo entfteht in Fig. 74 eine faft vollkommen feuerfichere Decke, da die Balken unten durch die Thonplatten mit Putz, oben durch die durchlöcherte Terracotta für das Feuer unzugänglich gemacht find. (Vergl. Art. 38, S. 47.)

45.
Rabitz-
Decken.

4) In Deutfchland werden feuerfichere Putzdecken ohne Holzfchalung in neuefter Zeit nach den Patenten *Rabitz* [59]) und *Monier* [60]) und in der Anordnung von *Mack* [61]) ausgeführt.

Rabitz fpannt in einiger Entfernung unter den Balken Drahtgewebe aus, welche mit Haken in der Wand und unter den Balken, fo wie in jedem Balkenfache noch durch einen 10 mm ftarken, in 50 cm Abftand nach den beiden Nachbarbalken aufgehängten Draht gehalten find (Fig. 85 linkes Fach). Die etwa 1 m breiten Bahnen des Drahtgewebes werden quer unter den Balken ftraff angezogen und zufammengenäht. Nach einer neueren Anordnung fpannt *Rabitz*

Fig. 85.



[58]) Siehe: Deutfche Bauz. 1884, S. 225. — Centralbl. d. Bauverw. 1887, S. 436, 450. — *American engineer* 1887, S. 230.

[59]) Siehe hierüber Theil III, Band 2, Heft 1 (Art. 271, S. 334) diefes »Handbuches«.

[60]) Siehe ebendaf., Art. 264 u. 265, S. 329—331.

[61]) Siehe: Wochbl. f. Baukde. 1887, S. 280. — Deutfches Baugwksbl. 1889, S. 85.

einzelne ſtarke Drähte quer unter die Balken, wie in Fig. 72 u. 73 (S. 47, Syſtem *Katz*), hängt ſie mit Drahtſchlingen und Haken an den Balken auf und legt dann ſchwächere Drähte in enger Theilung darüber hin, welche in allen Ueberkreuzungen mit Draht gebunden werden (Fig. 85 rechtes Fach).

Auf einzelne unter die Balken geſchraubte Lagerbretter wird nun eine Bretterlage von etwa 15 mm Dicke unter das Drahtnetz gelegt (Fig. 85 rechts) und der Patentputz, vorwiegend aus Cement beſtehend, 2,5 bis 3,0 cm ſtark, eingeſtampft. Nach kurzer Zeit iſt die Maſſe tragfähig genug, um das Abnehmen der Rüſtung zu geſtatten, worauf die Unterſeite glatt gerieben wird. Die Tragfähigkeit dieſes Putzes wird ſo groſs, daſs eine leichte, die Balkenfache füllende Bettung ohne Weiteres darauf gebracht werden kann. *Rabitz* ſchlägt zu dieſem Zwecke Torfgrus vor (ſiehe Art. 27, S. 39 u. Fig. 85 links); es iſt jedoch jede andere Fachausfüllung auch verwendbar (Fig. 85 rechts, Einſchubdecke). Der Luftraum zwiſchen Putz und Balken ſchützt im Vereine mit der erheblichen Widerſtandsfähigkeit des Mörtels gegen Feuer die verdeckten Holztheile vollſtändig, wie wiederholt bei Feuersbrünſten und durch Verſuche nachgewieſen iſt [62]).

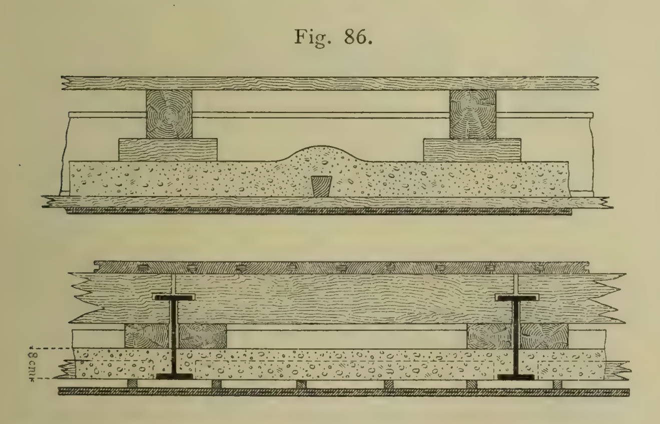
Zwiſchen den umſchloſſenen Drähten und dem Putzmörtel bildet ſich eine ſehr innige, wie von manchen Seiten behauptet wird, nicht bloſs mechaniſche, ſondern auch chemiſche Verbindung, und da das Wärmeausdehnungs-Verhältniſs des Drahtes von dem des Cementes nur unerheblich abweicht, ſo wirken beide Stoffe gut zuſammen, und es entſteht eine Widerſtandsfähigkeit, welche weit höher iſt, als die der gleich dicken Cementplatte.

Was die Lage des Drahtes in der Mörtelplatte anlangt, ſo ergiebt ſich aus dem Umſtande, daſs der Draht vorwiegend Zugbeanſpruchung, der Cement Druckbeanſpruchung zu widerſtehen vermag, daſs man den Draht ſo nahe an die gezogene Auſsenfläche der auf Biegung beanſpruchten Platte legen ſoll, wie dies mit Rückſicht auf den Schutz des Drahtes vor Feuer zuläſſig erſcheint, d. h. etwa zwiſchen $^1/_4$ und $^1/_3$ der Dicke der Platte von der gezogenen Seite aus gemeſſen. Der Deckenputz hat jedoch, wenn überhaupt, ſo geringe Laſten zu tragen, daſs man hier den Draht oder das an ſich weniger tragfähige Drahtgewebe unbedenklich in die Mitte der Plattendicke legen kann.

46.
Monier-
Decken.

5) Der Putz nach *Monier* unterſcheidet ſich von dem nach *Rabitz* weſentlich nur dadurch, daſs die Platten mit rechtwinkelig überkreuzter und gebundener Drahteinlage nicht im Gebäude, ſondern geſondert hergeſtellt und fertig eingebracht werden. Es iſt ſomit der Putz nach *Monier* nicht fugenlos, und die Befeſtigung unter den Balken wird eine andere, wie bei *Rabitz*, etwa die in Fig. 74 u. 84 dargeſtellte ſein müſſen. Wie bei dieſen Anordnungen dienen dünne *Monier*-Platten auch häufig nur als Träger des eigent-

Fig. 86.



62) Z. B. beim Brand in der Marine-Ausſtellung zu Cöln im Sommer 1890.

lichen Putzes, welcher auf ihrer Unterfeite angebracht wird; folche Verwendung der *Monier*-Platten[63]) zeigt Fig. 83; das Anbringen von *Rabitz-*, bezw. *Monier*-Putz unter einer Gypsfüllung auf Latten ift in Fig. 86 dargeftellt. Der Preis diefer Putzarten beträgt für 1 qm je nach Stärke und örtlichen Verhältniffen 1,0 bis 1,5 cm dick 2,5 bis 3,0 Mark, 5 cm dick bis 6 Mark fertig verlegt.

47.
Decken mit Gypsdielen.

6) Nach *Mack* (fiehe Theil III, Bd. 2, Heft 3, Art. 171 [S. 196] u. Art. 201 [S. 243], fo wie Art. 37 [S. 46] im vorliegenden Hefte diefes »Handbuches«) werden die Gypsdielen unter die Balken gefchraubt, wobei auch die in Fig. 74 u. 84 angegebenen Verfahren zur Erzielung eines Luftraumes zwifchen Putz und Balken verwendbar find.

Fig. 87.

Die etwa 3 cm dicken Platten können bei gutem Verftriche der Fugen und Schrauben felbft die Deckenfläche bilden oder fie können noch mit einer dünnen Putzfchicht überzogen werden. Eine folche Decke ift in Fig. 87 veranfchaulicht.

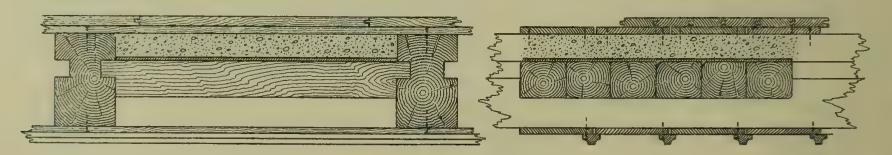
48.
Decken mit Spreutafeln.

7) Auch die Spreutafeln von *Katz* (vergl. Theil III, Bd. 2, Heft 1 diefes »Handbuches«, Art. 172 [S. 196], fo wie Art. 37 [S. 46] im vorliegenden Hefte) geftatten, nach Fig. 72 auf Drahtnetz mit der rauhen Seite nach unten verlegt, das unmittelbare Anbringen von Deckenputz, deffen Anhaften durch das Drahtnetz noch verbeffert wird.

Sowohl bei Gypsdielen wie bei Spreutafeln find die etwa fichtbar bleibenden Balkenunterflächen vor Aufbringen des Putzes in der in Art. 41 (S. 49) befprochenen Weife vorzubereiten (Fig. 72 u. 87).

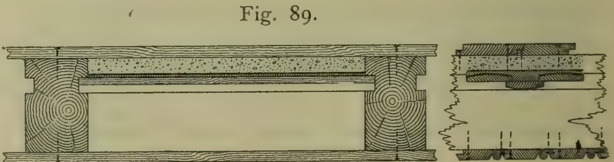
Durch den Putz wird ein Schutz der Gypsdielen und Spreutafeln vor Feuer von unten wohl gefchaffen; immerhin wird bei ftarkem Feuer ein Zerfallen auch über dem durchhitzten Putze noch eintreten, und es können daher die beiden letzten Deckenbildungen nicht den gleichen Sicherheitsgrad gewähren, wie eine *Rabitz-* oder *Monier*-Decke. Auch die Tragfähigkeit beider ift erheblich geringer, als die des

Fig. 88.



fehr widerftandsfähigen Gefüges aus Draht und Mörtel. Nur die *Katz*'fche Anordnung nach Fig. 72 (S. 47) giebt ein dem *Rabitz*'fchen ähnliches Gefüge der Decke, mit der Verfchlechterung jedoch, dafs die Drähte ganz in die Oberkante des Putzes fallen und nur mangelhaft umhüllt werden.

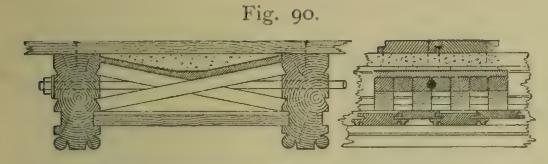
Fig. 89.



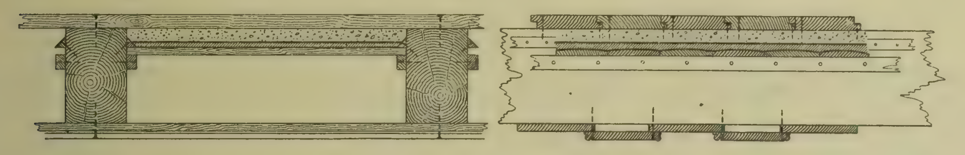
49.
Getäfelte Decken.

8) Die getäfelte Decke entfteht, wenn man eine ge-

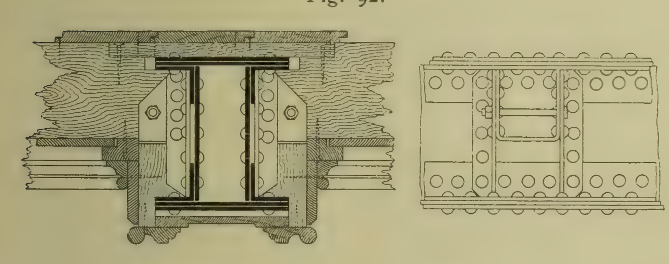
[63]) Ueber *Monier*-Platten fiehe auch: Theil III, Band 2, Heft 1 (Art. 266, S. 331) diefes »Handbuches«.


Fig. 90.

hobelte Schalung ohne Putz unter die Balken bringt (Fig. 88 u. 89). Dieſelbe bedarf der Verzierung, erhält daher an der Falzung angeſtoſsene Profile (Fig. 88), oder es werden profilirte Leiſten über die Fugen genagelt (Fig. 89). Man kann die Schalung auch als Stülpdecke aus zwei Lagen von Brettern herſtellen, welche profilirt und geſpundet ſind, wie in Fig. 90, oder über einander greifen (Fig. 91).

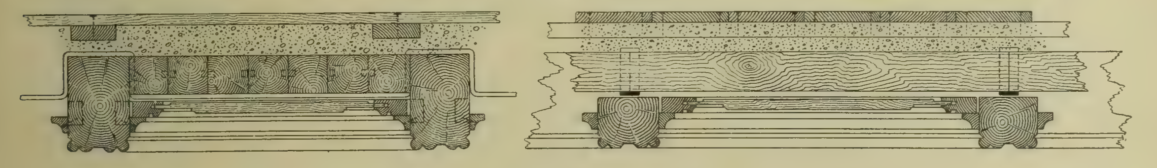
Fig. 91.


Die Täfelung kann in weniger einförmiger Weiſe auch durch geometriſche Figuren aus untergenagelten Profilleiſten geſchmückt werden, wobei jedoch die Bretterfugen die Felder der Figuren in unangenehmer Weiſe durchſchneiden. Es iſt daher beſſer, die ſeitlich genutheten Leiſten unmittelbar unter die Balken, bezw. ſo weit nöthig unter den Balkenwechſel zu nageln und dann geleimte Brettertafeln ſo in die Nuthen einzulegen (Fig. 92), daſs ſie ſich frei zuſammenziehen und ausdehnen können; man erzielt in ſolcher Weiſe gut zu bemalende Feldflächen ohne Fugen.

Fig. 92.


50. Caffetten-Decken.

9) Die Caffetten-Decke (Fig. 93) theilt zunächſt durch zwiſchen die Balken geſetzte Wechſel die Deckenfläche in regelmäſsige, meiſt rechteckige Felder ein, um welche die Profilirung der Balken und Wechſel als Rahmen herum läuft. An die Seitenflächen der Balken und Wechſel werden ringsum laufende Profilleiſten geſchraubt, auf welche dann die Bodenfüllungen der entſtandenen Caffetten meiſt in geſtemmter Arbeit, ſonſt als

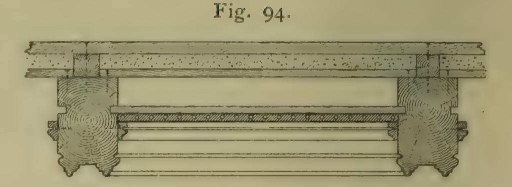
Fig. 93.


glatte geleimte Tafeln loſe aufgelagert werden. Die Füllungen können ſchlieſslich durch Malerei, durch geſchnitzte oder durch aus Gyps-, bezw. Zinkguſs hergeſtellte Ornamente ausgeſchmückt werden. Reiſsen der Bretter iſt durch die bewegliche Lagerung verhütet.

Auch mittels Stuck kann man die Ausſchmückung der von den Balken und Wechſeln gebildeten Caffetten erreichen, wobei aber Balken und Wechſel wie die Füllungen berohrt werden müſſen, wenn man vollſtändig geputzte Flächen haben

will. Eine Caſſetten-Decke, bei der die Rahmen von den Balken und Wechſelprofilen nebſt angeſchraubten Profilleiſten und der Boden durch glatten Putz gebildet werden, zeigt Fig. 94. Dieſe Deckenausbildung iſt von allen die reichſte.

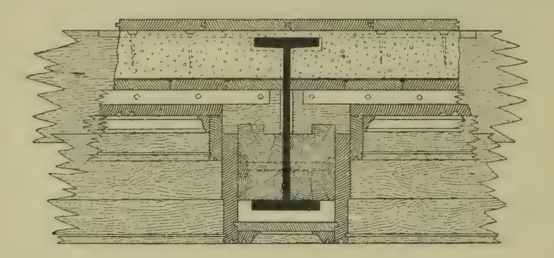
Fig. 94.

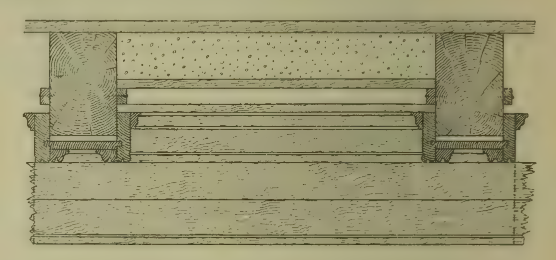


51. Einſchubdecken.

10) Die Einſchubdecke legt die Täfelung zwiſchen die Balken auf Leiſten (Fig. 95) oder in Nuthen (Fig. 90), ſo daſs die zu hobelnden und zu profilirenden Balken vor der Täfelung vortreten und lange Balkenfelder bilden, deren Böden

Fig. 95.





von gehobelten Brettern mit profilirten Fugen oder Fugenleiſten gebildet werden. Auch hier kann man ſtatt der einfachen Einſchubdecke eine Stülpdecke aus doppelter Bretterlage mit geſpundeten und profilirten Fugen (Fig. 90) oder einfacher Ueberdeckung verwenden.

52. Decken aus glaſirten Thonflieſen.

11) Fayence-Decken[64]), Decken aus glaſirten Thonflieſen, kommen in Frankreich und Belgien vor; Beiſpiele ſind in Fig. 65 u. 67 (S. 45) dargeſtellt. Die Flieſen können auſser der Glaſur auch Blätter oder ſonſtigen Formenſchmuck tragen. In der durch Fig. 67 dargeſtellten Ausbildung nach Art einer Einſchubdecke müſſen die Balkenfache mit einer Plattenbreite gedeckt werden, werden alſo ſchmal; in Fig. 65 iſt eine gröſsere Weite durch eine Art von Plattenwölbung erreicht, welche durch Anbringen entſprechender Kämpfervorſprünge oder -Leiſten an Holzbalken auch bei dieſen verwendbar ſind.

Um auch unter hölzernen Balken ebene Fayence-Decken anbringen zu können, ſo daſs die Balken nicht, wie in Fig. 67, vortreten, befeſtigt *E. Müller* in Jory unter den Balken zunächſt einen Roſt aus Guſs- oder Schmiedeeiſen, in deſſen Maſchen die bunten verzierten Platten eingelegt werden. Die zwiſchen den Platten vortretenden Stege des Roſtes werden den Platten entſprechend verziert und etwa mit Bronzefarbe behandelt.

Derartige Decken beſitzen, mit Luftraum unter die Balken gelegt, einen ziemlich hohen Grad von Feuerſicherheit, eignen ſich aber für Wohnräume nur bei ganz beſtimmten Ausſtattungsarten. Sehr geeignet erſcheinen ſie für ſolche Räume, in denen auch die Wände ganz oder zum Theile mit glaſirten Flieſen (*tiles*) belegt ſind, wie dies z. B. in manchen Erfriſchungsräumen engliſcher Reſtaurants und Vergnügungsanlagen gebräuchlich iſt.

---

[64]) Siehe: Polyt. Journ., Bd. 262, S. 284. — Sprechſaal 1886, S. 721. — *Annales des travaux publics*, Bd. 9 (1888), S. 2118.

Literatur

über »Balkendecken in Holz«.

RINECKER, F. Zimmermanns-Arbeiten in Nord-Amerika. Zeitfchr. d. bayer. Arch.- u. Ing.-Ver. 1869, S. 76.

Etagengebälke aus dem Mittelalter. HAARMANN's Zeitfchr. f. Bauhdw. 1877, S. 9.

Planchers en bois. La femaine des conft. 1877—78, S. 314.

CHERY, J. *Conftructions en bois et en fer. 3e partie, 1e fection: Difpofitions économiques des traverfes en bois pour planchers.* Paris 1879.

VOGDT. Hölzerne Balkenlagen über gröfseren Räumen. Deutfche Bauz. 1879, S. 149.

KORTÜM. Ueber Holzbalkendecken in Wohngebäuden. Centralbl. d. Bauverw. 1881, S. 370.

3. Kapitel.

Balkendecken in Holz und Eifen.

53. Ueberficht.

Es find hier folche Decken zu befprechen, in deren tragenden Theilen Holz und Eifen fich in der Laftaufnahme vereinigen. Sie find gegenüber den übrigen Deckenarten felten, da Dauer und Feftigkeit der beiden Bauftoffe zu fehr verfchieden find, um durch ihre Vereinigung zu wirklich zweckmäfsigen Anordnungen zu führen.

Die fcharfe Trennung der drei, bezw. vier Beftandtheile der Decke ift hier nicht in gleicher Weife, wie im vorhergehenden Kapitel durchzuführen; es follen daher Beifpiele von Gefammtanordnungen in allen ihren Theilen gleichzeitig vorgeführt werden.

Die bei weitem meiften hierher gehörenden Conftructionen verwenden das Holz zur unmittelbaren Unterftützung des Fufsbodens, während die eigentlichen Deckenträger aus Eifen gebildet werden.

54. Gewöhnliche Anordnung.

Die am häufigften, insbefondere in Deutfchland, vorkommende Anordnung ift die in Art. 4 (S. 7) bereits berührte, bei welcher die hölzernen Balken, welche für die vorhandene lichte Weite zu geringe Querfchnittsabmeffungen haben, auf eiferne Unterzüge — meift I-Träger — gelagert werden. Die Balkenlage, die Ausfüllung der Balkenfache, die Lagerung des Fufsbodens und die Deckenunterfläche werden in einer der im vorhergehenden Kapitel vorgeführten Weifen ausgebildet; der eiferne Unterzug fpringt in ganzer Höhe vor der Deckenunterfläche vor.

Wenn man an den Unterflächen der Holzbalken in gewöhnlicher Weife die Bretterfchalung, die Berohrung und den Putz anbringt, und wenn diefe Balken unmittelbar auf den I-Trägern aufruhen, fo entfteht der Mifsftand, dafs der obere Flanfch der letzteren im Deckenputz völlig verfchwindet, was unconftructiv und unfchön ausfieht. Man lege defshalb zwifchen die Unterflächen der Balken und den oberen Flanfch des Unterzuges Brettftücke von folcher Dicke ein, dafs die Oberkante des letzteren bündig mit der Putzunterkante zu liegen kommt.

55. Anordnungen von geringer Conftructionshöhe.

Auch die nunmehr vorzuführenden Decken-Conftructionen gehören zu jenen Anordnungen, bei denen fchwache Holzbalken fich auf eiferne Deckenträger ftützen. Beifpiele der hierbei in das Auge gefafften Ausbildungen zeigen Fig. 65, 77, 78, 84, 86, 92, 95, 97 u. 99.

Fig. 92 (S. 55) entfpricht dem Falle, dafs über einem weiten Raume eine Decke hergeftellt werden foll, welche möglichft wenig Höhe wegnimmt. Defshalb find niedrige, ftarke Kaftenträger faft unmittelbar unter die Fufsbodenbretter gelegt, welche in feitlich angenieteten Blechkaften die gewöhnlichen Holzbalken aufnehmen.

Die Füllung der Balkenfache, welche nach einer der im vorhergehenden Kapitel (unter b) angegebenen Weifen erfolgt, ift nicht dargeftellt; dagegen ift angedeutet, wie die Fufsbodenbretter über dem Eifen der Träger zu lagern find und wie der niedrige Vorfprung des Trägers nach unten durch Ausbildung einer getäfelten Decke verdeckt werden kann. Der ganze Träger fteckt in einem aus profilirten Leiften gebildeten Kaften, welcher durch auf die Gurtung des Trägers greifende eingepaffte Klötze getragen wird. Diefe Klötze werden durch die unter die Balken gefchraubten Tragleiften der Deckentäfelung am Herausfallen verhindert; eine unmittelbare Verbindung zwifchen Holz und Eifen, welche Anbohren des Eifens bedingt hätte, ift nicht vorgenommen.

In Fig. 84 (S. 52) liegen die eifernen Träger ganz unter den über ihnen geftofsenen und verklammerten Bohlenbalken. Auch hier ift ein breiter Kaften unter der Balkenlage nach amerikanifchem Mufter hergeftellt, indem die doppelt angeordneten Träger zunächft mit in Cementmörtel aufgefetzten, dem Trägerquerfchnitte angepafften gebrannten Thonplatten verkleidet und darüber mit profilirtem Gypsputze bedeckt wurden[65]. Es ift fo ein wirkfamer Schutz der Träger gegen Feuer erzielt, welche durch unmittelbaren Angriff des Feuers erfahrungsmäfsig fchnell, unter Umftänden fchneller als ftarke Holzbalken zerftört werden[66].

Das eigenartige Anbringen von Thonfliefen nach *Syftem White* unter den Holzbalken als Träger des Putzes der Decke wurde fchon in Art. 44 (S. 51) befprochen.

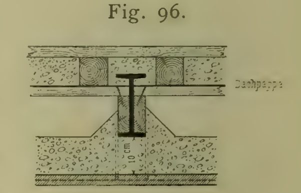
In Fig. 86 (S. 53[67]) find zwifchen die enger gelegten Eifenbalken fchwache Holzträger unter Einfchneiden der Trägerflanfche in die Hirnenden eingefetzt. Die Fachausfüllung ift durch eine 8 cm ftarke Lage eines Gemenges von Gyps und Steinbrocken gebildet, gegen welche die kleinen Traghölzer durch keilförmige Holzeinlagen abgefangen find.

Letztere dienen zugleich dazu, die Hölzer in die genau richtige Höhenlage zu bringen. Die Hölzer tragen einen gefederten Fufsboden, deffen Bretter parallel zu den eigentlichen (Eifen-)Balken gelegt find. Um eine Putzdecke auf Rohr oder nach *Rabitz*, bezw. *Monier* anbringen zu können, ift jedesmal mitten zwifchen zwei Holzträgern ein Abfchnitt einer hölzernen Schwalbenfchwanzleifte zwifchen den unteren Flanfchen der I-Balken in den Gyps eingeftampft, unter welchen dann die den Deckenputz tragenden Latten für Rohrputz in enger, für *Rabitz*-, bezw. *Monier*-Putz in weiterer Theilung genagelt werden können. Die Koften diefer Decke betrugen 10,2 Mark für 1 qm.

56. Vorfchläge von *Stolz*.

Stolz[68] macht für derartige Decken die in Fig. 96 u. 97 dargeftellten Vorfchläge[69], welche von dem Gefichtspunkte ausgehen, derartige Decken nach den von ihm gefammelten Erfahrungen thunlichft feuerficher zu geftalten. Nach *Stolz* droht den Decken von oben her wenig Gefahr, da, wie fchon früher erwähnt wurde, felbft bei ftarken Feuersbrünften hölzerne Fufsböden wegen Mangels an Luft höchftens ankohlen, wenn nur kein anfachender Zug durch die Decke felbft kommen kann. Höchft gefährdet find dagegen die Deckenunterflächen, und in diefen befonders die Rückfprünge, welche neben vorfpringenden Theilen (Unterzügen u. dergl.) entftehen. Solche Vorfprünge find daher zu vermeiden; Unterzüge müffen alfo in der Deckendicke thunlichft verfteckt werden, wenn diefe auch dadurch wachfen follte.

Fig. 96.



Stolz führt in diefer Beziehung an, dafs ein 75 cm unter der Decke liegendes Ofenrohr die Einfchubbretter in den Balkenfachen entzündete, obwohl an der unter den Balken liegenden Bretterfchalung keine Brandfpuren zu finden waren. Aus gleichem Grunde ift es auch von befonderer Wichtigkeit, die Träger von unten her feuerficher einzuhüllen, da fie durch Erhitzen ihre Tragfähigkeit verlieren.

[65] Siehe: Centralbl. d. Bauverw. 1887, S. 436. — *American engineer* 1887, S. 230.

[66] Siehe: Centralbl. d. Bauverw. 1887, S. 417.

[67] Siehe: Centralbl. d. Bauverw. 1886, S. 43.

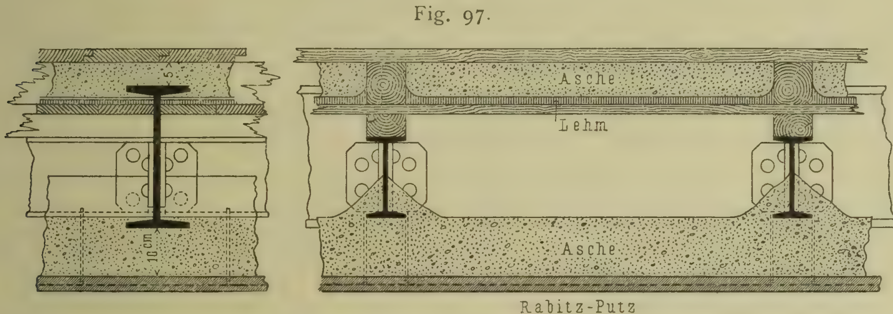
[68] Der derzeitige Brand-Director von Magdeburg.

[69] Siehe: Centralbl. d. Bauverw. 1888, S. 3.

Fig. 96 ſtellt eine gewöhnliche Zimmerdecke dar, bei der die Träger von oben und unten durch Aſchenfüllung, und zwar oben weniger als unten, geſchützt ſind. Zur Stützung der unteren Aſchenlage iſt eine *Rabitz*-Decke mindeſtens 10 cm unter den Balken aufgehängt, und an dieſen iſt die Aſche ſo weit aufgeſchüttet, daſs der Balken nebſt den auf den unteren Flanſch geſetzten Tragleiſten für den Einſchub noch genügend geſchützt wird. Der Einſchub liegt ſo tief, daſs auch der Balkenkopf noch ganz in Aſche gehüllt iſt. Die Fuſsbodenlager ſtehen ſo weit von den Balken ab, daſs ein die erſteren ergreifender Brand letztere noch nicht erheblich erhitzen kann. Auf den Einſchub und unter die Fuſsbodenlager iſt eine Lage von Dachpappe gebracht, um das Durchrieſeln der oberen Aſchenlage durch den Einſchub und das Entſtehen von Luftzug von unten durch die Decke zu verhindern.

Fig. 97 zeigt eine gleiche Decke, deren weite Spannung aber die Anordnung eines ſtarken Unterzugträgers nöthig gemacht hat. Die Eiſenbalken ſind innerhalb

Fig. 97.



1/15 n. Gr.

der Höhe des Unterzuges an deſſen Steg befeſtigt und von unten eben ſo, wie in Fig. 96, derart geſchützt, daſs 10 cm Aſche unter der Unterzugkante bleiben. Um nun auch die obere Gurtung des Unterzuges genügend einzuhüllen, ſind Polſterhölzer auf die Balken gelegt, ſo daſs der hier mit Lehmſchlag ſtatt mit Dachpappe eingedichtete Einſchub der oberen Gurtung des Unterzuges nahe liegt und die Verfüllung der Fuſsbodenlager dieſen deckt. Ein ſchwacher Punkt bleibt die Ueberkreuzung der Lagerhölzer mit dem Unterzuge; doch iſt die hier entſtehende Gefahr wegen der geringen Ausdehnung der gefährdeten Stelle nicht erheblich. Auch daſs der Brand durch die Holztheile bis zu den oberen Gurtungen der Balken durchdränge, iſt nicht zu befürchten.

So ſorgfältig dieſe Decken mit Rückſicht auf Sicherung gegen Feuer und Auswahl billiger Bauſtoffe durchgebildet ſind, ſo iſt nicht zu verkennen, daſs ſie durch ihre das gewöhnliche Maſs (beſonders bei Anordnung von Unterzügen) weit überſchreitende Dicke und den dadurch entſtehenden Mehraufwand an Mauerwerk in den Wänden nicht gerade ſparſam genannt werden können.

57.
Franzöſiſche Anordnungen.

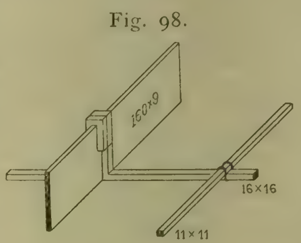
In Frankreich ſind derartige Deckenausbildungen [70]) ſehr beliebt. Zunächſt iſt eine ganze Reihe derſelben nach verſchiedenen Erfindern genannt; dieſelben zeigen wenig Abweichungen von einander und ſind wegen zu kleiner Einzeltheile und ſchwieriger Zuſammenſetzung nur in beſchränktem Maſse zur Ausführung gekommen. Es gehören hierher die Syſteme *Angot*, *Bellemare*, *Batelier*, *Jeannette*, welche die Träger aus möglichſt leichten Band- und Quadrateiſen bilden. Ueber die Träger

[70]) Siehe: *Annales induſtr.* 1883—II, S. 5 u. ff.

ftrecken fich fchwache Balken zur Aufnahme des Fufsbodens, und die Ausfüllung der Balkenfache wird aus Gyps-Beton auf einem Rofte von dünnen Quadrateifen gebildet.

Auf die Dauer fcheint fich nur eine derartige Conftruction zu behaupten, die von *Vaux* (Fig. 98), welche weit verbreitet ift. Die Träger beftehen aus mit $^1/_{10}$ Pfeil nach oben durchgebogenen, hochkantig geftellten Flacheifen, welche in den Wänden verankert find.

Fig. 98.



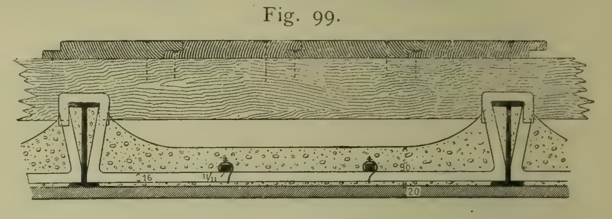
Gegen einander werden diefe Bänder durch gefchmiedete Bügel aus Quadrateifen abgefteift, fo dafs fie nicht kippen können. Die Querbügel tragen zwifchen je zwei Balken von 75 cm Abftand zwei kleine quadratifche Eifenleiften mit Draht feft gebunden, und an das fo gebildete Leiftennetz hängt man die Deckenfüllung aus feinem Gyps-Beton, welcher, weich eingebracht, auf den umhüllten Leiften erhärtet (fiehe auch Fig. 78, S. 50 u. Fig. 65 links, S. 45). Ueber die Flacheifenbalken ftreichen in der Querrichtung ganz fchwache Balken oder Lagerhölzer, und diefe nehmen dann die Fufsbodenbretter auf. Unter dem unten auf Bretterfchalung eben abgeglichenen Gyps-Beton wird der Gypsputz der Decke aufgetragen.

Die wefentlichften Mängel diefer Anordnung find die äufserft geringe feitliche Steifigkeit und die fchwierige Auflagerung der Flacheifenträger, fo wie die Lagerung der Holzbalken auf die Kante des Flacheifens.

Noch gebräuchlicher find die Deckenanordnungen von *Thuasne* und namentlich diejenigen von *Rouffel*, letztere vorwiegend in Paris.

Thuasne verwendet I-Balken, über deren Gurtungen behufs Einfetzens der kleinen quadratifchen Querftäbe rechteckige Blechmuffen gefchoben werden.

Fig. 99.

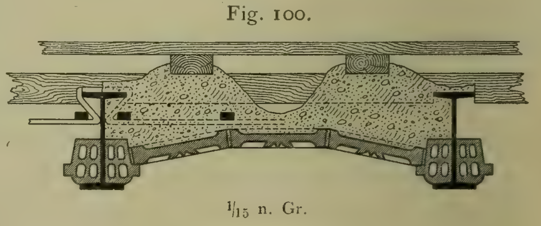


Diefe Muffen find behufs Aufnahme der Querftäbe quadratifch gelocht, und nach Einfchieben der Stäbe werden Splinte in dem Zwifchenraume zwifchen Muffe und Trägerfteg durch die gelochten Stabenden gefchoben. Die Querftäbe tragen, wie bei *Vaux*, mit Draht gebundene Querleiften, und die Zwifchendecke wird, wie bei allen derartigen franzöfifchen Syftemen aus Gyps-Beton, in den Stabroft eingeftampft.

Das Syftem *Rouffel* (Fig. 99) unterfcheidet fich gegen jenes von *Thuasne* nur dadurch, dafs die Querftäbe, wie bei *Vaux*, bügelartig über die I-Träger gebogen werden und diefe fehr wirkfam gegen einander abfteifen. Auch hier hängt die Gypsdecke am Rofte der Quer- und Längsftäbe.

Auch Fig. 100 zeigt eine ähnliche Anordnung, bei welcher jedoch der Gyps-Beton nach unten durch Fayence-Fliefen (vergl. Art. 52, S. 56) abgefchloffen ift. Für letztere wird ein gutes Widerlager durch Hohlziegel gebildet, welche, auf die untere Gurtung der Balken gefetzt, diefer zugleich eine beffere Wirkung durch Vergröfserung des vorfpringenden Körpers verleihen.

Fig. 100.



$^1/_{15}$ n. Gr.

Da diefes Fliefengewölbe eine erhebliche Tragfähigkeit befitzt, fo wird diefe Decke auch ohne den Roft von Eifenftäben gebildet, welcher deshalb nur in die linke Hälfte eingetragen ift.

Oben ruhen auf den in gröfseren Abftänden gelagerten hölzernen Querbalken die Fufsbodenlager wieder der Länge nach, fo dafs die Bretter wieder winkelrecht zu den Balken laufen. Der Gyps-Beton umhüllt fowohl die Querbalken, wie die Längslager wenigftens fo weit, dafs fie unverfchieblich liegen.

Bei allen diefen Syftemen ift die Theilung der Querftäbe etwa 75 cm, die der Längsftäbe etwa 25 cm. Sie tragen kleine Lagerbalken auf den Trägern und den Gypsputz der Decke ohne Zwifchenmittel unter der Gyps-Betonfüllung. Unter den Trägerflächen erhält der Putz keine befondere Befeftigung.

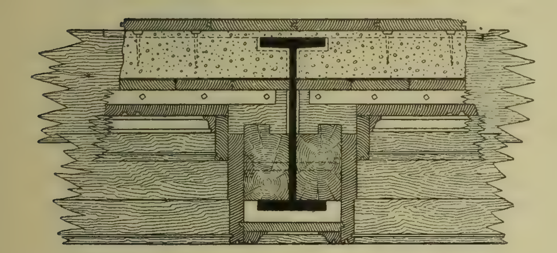
Die kleinen Querbalken bleiben jedoch auch wohl weg, und dann werden die Längslager dicht neben die Eifenbalken unmittelbar in den Gyps-Beton gelagert, welcher dazu tragfähig genug ift, namentlich wenn er das Stabgerippe enthält, oder auf Fliefenbogen ruht. Da die Laften dann nicht mehr von den Holztheilen, fondern durch die Gypsfüllung auf die Balken übertragen werden, fo bildet diefe Ausbildung der franzöfifchen Gypsdecke ftreng genommen fchon ein Beifpiel der in Kap. 4 zu befprechenden Decken aus Eifen und Stein oder Mörtel.

Dafs diefe Gypsdecken wegen des Zerfallens des Gypfes in der Hitze nicht zu den feuerficheren zu rechnen find, wurde bereits in Art. 36 (S. 45) erwähnt. Aus diefem Grunde find auch die den Träger begleitenden Kämpferftücke in Fig. 100 nicht fo geftaltet, dafs fie den unteren Trägerflanfch ganz einhüllen. Es wäre jedoch diefe noch fpäter (in Kap. 4, unter b) zu befprechende Formung auch hier wohl am Platze, weil die Fliefendecke auch nach Zerfallen des Gypfes noch als ziemlich widerftandsfähig anzufehen ift, wenn nur die Balken ihre Tragfähigkeit nicht durch Erhitzen verlieren.

58.
Neuere
deutfche
Anordnungen.

Eine weitere deutfche Anordnung diefer Gruppe zeigt Fig. 101 [71]), welche der in Fig. 92 (S. 55) dargeftellten ähnlich ift. Die möglichft in der Decke verfteckten **I**-Unterzüge tragen über dem unteren Flanfch an den Steg gebolzte Lagerhölzer für die Holzbalken. An die Lagerhölzer find zugleich die den unteren Theil der Unterzüge verdeckenden Verfchalungen aus profilirten Brettern angebolzt; in übereinftimmender Weife find auch die unteren Balkentheile behandelt.

Fig. 101.



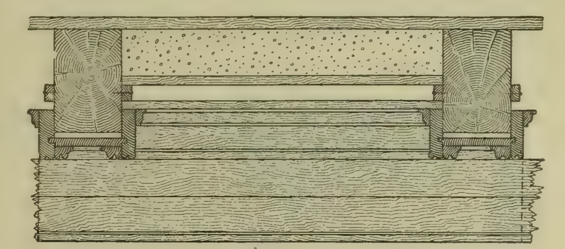
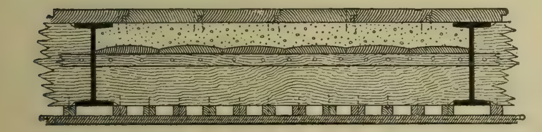
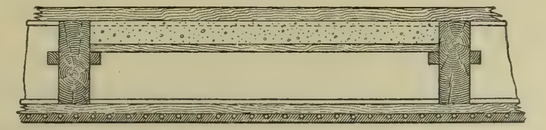


Fig. 102.





Auch Fig. 102 [72]) zeigt eine ähnliche Anordnung, bei welcher jedoch die enger gelegten Eifenbalken ganz in der Decke verfchwinden. Die Querbalken aus Bohlen lagern unmittelbar auf dem unteren Flanfch.

[71]) Nach: Centralbl. d. Bauverw. 1887, S. 410.

[72]) Siehe: Deutfche Bauz. 1886, S. 298.

59.
Anordnungen mit befonders geformten Trägern.

Für die Ausbildung der Decken mit Eifenträgern und Holz find auch befondere Trägerformen eingeführt worden.

Der Träger von *Gocht*[73]) in Chemnitz (Fig. 103), gewalzt von der Königin-Marienhütte in Cainsdorf (18 cm hoch aus Flufseifen) mit einem Widerftands-Moment von 132 (in Centim.) bezweckt die unmittelbare Nagelung der Fufsbodenbretter und der Deckenfchalung an die Eifenträger.

Fig. 103.

Zu diefem Zwecke wird in die Hohlkehlen, welche beim Zufammennieten der getrennt gewalzten Trägerhälften entftehen, eine birnförmige, gerippte Gufsleifte oder ein mit Draht umwickeltes dünnes Rundeifen (Fig. 103) vor dem Vernieten eingelegt. Treibt man nun Nägel durch die Bretter in die Hohlkehlen, fo biegen fich diefe um die Einlagen herum und werden zu Befeftigungshaken. In halber Höhe haben die Stege kleine Anfätze zur Auflagerung von Einfchubbrettern, welche die Füllung aufnehmen, fo dafs die Gefammtanordnung einer hölzernen Balkenlage völlig entfpricht.

Diefer Träger wurde in der Nicolai-Apotheke zu Chemnitz, im Block *G* der Lagerhäufer der Hamburger Freihafen-Lagerhaus-Gefellfchaft und in den Erfrifchungsräumen *Meins* in Hamburg verwendet.

Der Träger von *Klette*[74]), gleichfalls von der Königin-Marienhütte in Cainsdorf (21 cm hoch, 29,8 kg für 1 m fchwer), mit einem Widerftands-Moment von 225 (in Centim.) gewalzt, ift in Fig. 104 u. 105 in älterer und neuerer Geftalt dargeftellt.

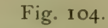


Fig. 104.

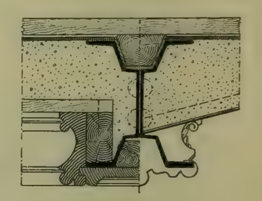
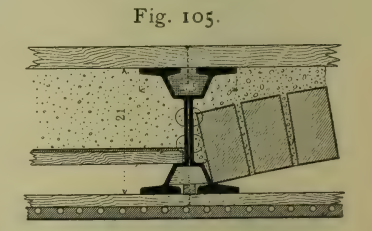


Fig. 104 zeigt links die Anordnung einer hölzernen Einfchubdecke auf Lagerhölzern, welche vom unteren Flanfch getragen werden und zugleich eine Verfchalung des Trägers aufnehmen. Die Fufsbodenbretter ruhen auf kleinen Lagerhölzern, welche mit Afphalt in die obere Gurtung eingefetzt find. Die Füllung ift in gewöhnlicher Weife angeordnet und unter den Brettern mit Afphaltfilz abgedeckt. Die untere Trägerverfchalung ift noch an einer in die untere Gurtung eingelegten und feitlich verfchraubten Holzleifte befeftigt.

In Fig. 105 ift an der neueren Geftalt des Trägerquerfchnittes links eine gewöhnliche Einfchubdecke mit geputzter Deckenfchalung gezeigt. Der Hohlraum in der oberen Gurtung ift mit einer nagelbaren Mifchung aus Afphalt und Holzabfällen heifs angefüllt, fo dafs auch hier unmittelbare Nagelung der Fufsbodenbretter, wie bei *Gocht*, ermöglicht ift; die Träger werden mit diefer Füllung angeliefert. In die untere Gurtung laffen fich, zufolge der gewählten Form des Gurtungsquerfchnittes, Holzklötze feft einklemmen, unter denen die Deckenfchalung befeftigt wird. Gelegenheit zur Auflagerung der Einfchubbretter giebt der obere Abfatz der unteren Gurtung.

Fig. 105.



Beide Träger, der von *Gocht* und jener von *Klette*, namentlich der letztere, zeichnen fich durch vergleichsweife hohe Widerftands-Momente und breite Lagerflächen der unteren Gurtung aus, welche die Auflagerung auf die Wände wefentlich erleichtern. Beide find wiederholt zur Zufriedenheit der Ausführenden zur Verwendung gelangt.

Ein dem *Klette*'fchen Träger fehr ähnlicher kann auch aus den Walzeifen von *Lindfay*[75]) zufammengefetzt werden.

73) Siehe: Deutfche Bauz. 1886, S. 96, 555; 1887, S. 44.

74) Siehe: Deutfche Bauz. 1886, S. 120, 298. — Wochbl. f. Baukde. 1886, S. 146, 234. — Civiling. 1886, S. 283.

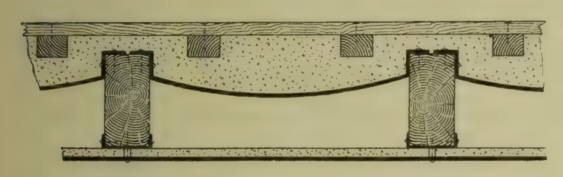
75) Englifches Patent. — Siehe auch: *Engineer*, Bd. 64 (1887), S. 289. — *Engng.*, Bd. 44 (1887), S. 209. — Centralbl. d. Bauverw. 1887, S. 389.

Die Schwierigkeiten, welche durch eine dauerhafte Befeftigung von hölzernen Brettern auf eifernen Balken entftehen, fucht der Patenthaken von *L. Bethe* in Stade [76]) zu befeitigen.

60. Englifche Anordnungen.

Im Gegenfatze zu diefen Anordnungen mit Eifenbalken und hölzerner Stützung des Fufsbodens werden in England Decken verwendet, bei denen die Träger wieder Holzbalken, die Theile, welche den Fufsboden tragen, aber aus Eifen, und zwar Eifenblech hergeftellt find (Syftem *Edwin May*). Ein Beifpiel diefer vielfach verfchiedenen Anordnungen zeigt Fig. 106. Auf die Balken find 6 bis 8 mm ftarke Hängebleche genagelt, welche mittels Bettung und Lagerbohlen den Fufsboden aufnehmen. Nach unten ift die Balkenlage gleichfalls durch ein fchwaches Blech abgefchloffen. Die Theile find zugleich fo angeordnet, dafs die Decke einen hohen Grad von Feuerficherheit erhält.

Fig. 106.



Von oben kann die Hitze nicht eindringen, da die Holztheile des Fufsbodens nur mit der feuerficheren Füllung in unmittelbarer Berührung ftehen. Unten ift das Blech mittels eiferner Hülfen für die Nägel um einige Centimeter von den Balken entfernt gehalten; der Zwifchenraum ift mit Füllftoff gefchloffen und jeder Balken unten noch mit einer Blechkappe verfehen.

Bedenklich find folche Anordnungen mit dünnen Blechen in feuchten Räumen, da die Bleche leicht durchroften; fie müffen jedenfalls durch guten Anftrich oder Verzinkung gefchützt fein.

Literatur

über »Balkendecken in Holz und Eifen«.

Nouveau fyftème de planchers en bois et fer. Nouv. annales de la conft. 1873, S. 78.

Planchers en fer et en bois, étude comparative de divers types. Nouv. annales de la conft. 1875, S. 103.

DÖRFEL. Vergleich der neuen Decken-Conftruction, d. i. wo Träme und Diebelbäume zwifchen Traverfen aufliegen, mit der alten Conftruction, wo die Träme und Diebelbäume auf der Haupt- und Mittelmauer aufliegen. Zeitfchr. d. öft. Ing.- u. Arch.-Ver. 1875, S. 152.

Planchers, fyftème Murat. Nouv. annales de la conft. 1882, S. 26.

GRISON, H. *Planchers en bois et en fer.* Nancy 1891.

4. Kapitel.

Balkendecken in Stein, bezw. Mörtel und Eifen.

Hierher gehören Anordnungen, bei denen eiferne Träger die eigentlich tragenden Theile der Decken-Conftruction bilden und die Ausfüllung der Trägerfache ganz oder zum Theile mit Stein, bezw. mit Mörtelkörpern erfolgt; in der Regel hat diefe Fachfüllung dann auch die Fufsbodenlaft zu tragen.

a) Auswölbung der Trägerfache.

61. Auswölbung mit Vollfteinen.

Eine häufig vorkommende Decken-Conftruction ift diejenige, bei der zwifchen die eifernen Träger aus Backfteinen (Vollfteinen) gewölbte Kappen eingezogen werden [77]).

[76]) Siehe: Deutfche Bauz. 1883, S. 315.

[77]) Siehe: Centralbl. d. Bauverw. 1883, S. 159; 1888, S. 63. — Wochfchr. d. öft. Ing.- u. Arch.-Ver. 1883, S. 67.

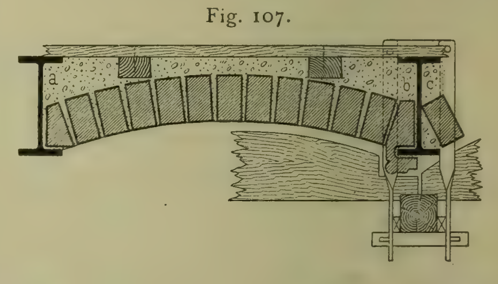
Fig. 107 zeigt drei Abarten diefer Anordnung. Es werden zwifchen die in einzelnen Fällen bis zu 3,0 m, gewöhnlich etwa 1,5 m, von einander entfernten Träger 1/2 Stein ftarke Kappen gefpannt, deren Kämpfer durch zugehauene (Fig. 107 links) oder geformte Steine (Fig. 107 am rechtsfeitigen Träger links) oder Mörtel (107 am rechtsfeitigen Träger rechts), bezw. Beton gebildet werden. Die zweite diefer Anordnungen fchützt den Träger von unten her gegen Feuer.

Als Mörtel wird meift Cementmörtel im Mifchungsverhältniffe 1 : 3 verwendet. Die Lehrbogen für die Schalung werden auf kleinen Hängerüftungen angebracht und beftehen aus kreisförmig gefchnittenen Brettern; bei *Moller*'fcher Wölbung kann man die Lehrbogen auf den Hängerüftungen unter den Trägern gleiten laffen. Der Pfeil der Bogen richtet fich nach der Trägerhöhe, da der Scheitel der äufseren Laibung fich thunlichft nicht über die obere Gurtung erheben foll. Das Hervortreten der Gewölberücken ift jedoch bei geringer Trägerhöhe nicht immer zu vermeiden.

Der Raum über den Gewölben wird zweckmäfsig mit trockenem Sande, beffer mit einem ganz mageren Gemenge von Cement oder Kalk mit Sand (1 : 10) oder einem Beton aus Schlacken und Kalkmilch gefüllt. Diefe Füllung trägt dann in der Regel mittels eingebetteter Lagerhölzer den hölzernen Fufsbodenbelag, welcher voll aufliegen foll; oder die Füllung nimmt je nach der Benutzung der Räume Eftriche aus Gyps, Cement, Beton oder Afphalt auf, oder fie wird mit Fliefenbelägen abgedeckt.

Diefe Auswölbung mit vollen Steinen ift bei der Erweiterung des Regierungsgebäudes zu Hildesheim [78]) in ausgedehntem Mafse unter völliger Umhüllung der unteren Gurtung der eifernen Träger nach der zweiten Anordnung in Fig. 107 zur Ausführung gekommen.

Fig. 107.



Man hing zunächft mittels Hängebügel, ähnlich dem in Fig. 107 dargeftellten, mit Seitentheilen aus Rundeifen und Ober- und Untertheil aus Bandeifen eine breite Bohle unter jeden Balken, auf welcher die den Trägerflanfch einhüllende Reihe aus Dreiviertelfteinen in Cementmörtel verfetzt wurde. Nachdem diefe abgebunden war, unterftützte man wieder ähnlich, wie in Fig. 107, kleine Lehrbretter auf den überragenden Seitenkanten der Bohlen und wölbte nun die Kappen mit Vollfteinen aus.

Die Arbeit der Kappenwölbung wurde für 1,75 Mark für 1 qm, einfchl. Verfetzen der Trägerfteine, vergeben. Eine glatte Kappe ohne Trägerumhüllung hätte 1,35 Mark gekoftet. 1000 Stück verzierte Dreiviertelfteine für fchwächere Balken kofteten 81,5 Mark, für die ftärkeren Unterzüge 103,5 Mark. Die gefammten auf die Einhüllung der Träger-Unterflanfche entfallenden Koften betrugen durchfchnittlich 3,38 Mark für 1 lauf. Meter Träger. Der durch die kräftige Hervorhebung der Träger zwifchen den Kappen mittels der unbedeckten Hüllenfteine erzielte Gefammteindruck ift ein guter.

Für viele Räume ift die gewölbte Unterfläche der Balkenfache unerwünfcht. Das Anbringen einer glatten, gefchalten und geputzten Decke kann, auch wenn die unteren Gurtungen der Träger mit Stein eingehüllt find, erzielt werden, indem man in die Auswölbung fchmale Bohlenftücke mit einmauert, deren Unterkante bündig mit den tiefften Steintheilen liegt und zum Anbringen der Deckenfchalung benutzt wird [79]).

Von befonderer Wichtigkeit ift bei diefen Decken neben der Seitenfteifigkeit der Träger möglichfte Leichtigkeit der Fachausfüllung, da diefe zur Verminderung

[78]) Siehe: Centralbl. d. Bauverw. 1889, S. 201.

[79]) Siehe: Centralbl. d. Bauverw. 1890, S. 63.

des Kappenfchubes beiträgt. Es find daher künftliche poröfe oder Tuffftein-Schwemmfteine für folche Auswölbungen befonders geeignet. Auch Kunftfteine aus Afche und Mörtel find für folche Zwecke vorgefchlagen worden [80]).

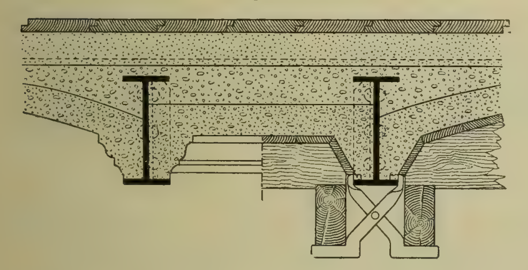
Bei einer beftimmten Bauausführung [81]) wurden die 2 m weiten Trägerfelder bei 21 cm Pfeil 12 cm ftark in Tuffftein und gewöhnlichem Schwarzkalkmörtel ausgewölbt und die Zwickel dann mit Schlacken-Beton aus 3 Theilen Kohlenfchlacke und 1 Theil Weifskalk überftampft. Die Ausführung erfolgte kurz vor Eintritt des Froftes (Mitte December), die Ausrüftung nach Aufgang des Froftes in den ungefchützten Kappen (im April). Die Kappen wurden dann mit 1250 kg auf 1 qm über die ganze, mit 1880 kg auf 1 qm einfeitig bis zur Mitte und mit 1525 kg auf 1 qm in der Nähe des Scheitels belaftet, während Nagelarbeiten am Fufsboden mit fchweren Hämmern nahe der Laft ausgeführt wurden. Hierbei wurde kein Rifs beobachtet.

Bei 1970 kg für 1 qm einfeitiger Belaftung zeigte fich dann ein Rifs, 75 cm vom belafteten Kämpfer entfernt, in der inneren Laibung. Nach zweitägiger Ruhe wurde weiter belaftet, und bei 2000 kg auf 1 qm entftand auch ein Rifs 5,5 cm vom unbelafteten Kämpfer in der äufseren Laibung. Bei 2400 kg auf 1 qm einfeitiger Belaftung erfolgte fchliefslich der Bruch.

Diefe zwifchen die eifernen Träger eingefetzten Wölbungen üben nun einen beträchtlichen Seitenfchub auf die Träger aus, welcher für die an beiden Seiten Gewölbe aufnehmenden Träger bei voller Belaftung allerdings ganz, bei Belaftung nur eines der anfchliefsenden Gewölbe jedoch nach Mafsgabe des in Kap. 6 Vorzuführenden nur zum Theile zur Ausgleichung gelangt. Die Träger werden fomit nicht blofs lothrecht, fondern auch wagrecht belaftet, und da fie in der üblichen fchmalen I-Form gegen die letztere Art der Beanfpruchung nur wenig Steifigkeit befitzen, fo wird es in vielen Fällen nöthig, diefe Schübe durch Anker aus Rundeifen völlig aufzuheben, wobei dann für die freie Trägerlänge zwifchen den Ankern eine geringe Beanfpruchung in wagrechtem Sinne noch bleibt.

Für derartige Anordnungen find daher folche Trägerquerfchnitte befonders zweckmäfsig, welche auch in feitlicher Richtung, d. h. für die lothrechte Mittelaxe berechnet, ein grofses Widerftandsmoment befitzen. Solche Träger find die in Fig. 103, 104 u. 105 dargeftellten Patentträger von *Gocht* und von *Klette*, auch der zufammengefetzte von *Lindfay* [82]). Wie Fig. 105 rechts zeigt, ergiebt namentlich der *Klette*'fche Träger eine gute Kämpferanlage; ähnlich find auch die Verhältniffe beim Träger von *Lindfay*. Auch das enge Zufammenlegen je zweier gut mit einander verbundener Träger bildet ein gutes Mittel, um für weit gefpannte Kappen grofse Seitenfteifigkeit der Träger zu erzielen (Fig. 108 u. 109).

Fig. 108.



Für die von beiden Seiten eingewölbten Träger wird die feitliche Beanfpruchung felten fo grofs, dafs aus ihr eine unbequeme Stärke der Träger erwüchfe; im Endabfchluffe der ganzen Balkenanlage tritt aber der Schub des letzten Gewölbes frei auf, ohne einen Gegenfchub zu finden; hier mufs alfo ftets eine befondere Vorkehrung zur Aufnahme der Schübe getroffen werden. Bei ftarken Aufsenwänden des überdeckten Raumes kann man diefe als Widerlager des letzten Gewölbes benutzen; einerfeits ift jedoch die Wandftärke, namentlich bei hoher Lage der Decke,

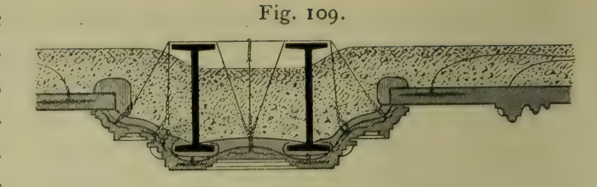
80) Von *Schröder* in: Centralbl. d. Bauverw. 1888, S. 499.

81) Siehe: Deutfche Bauz. 1890, S. 46.

82) Siehe: *Engineer*, Bd. 64 (1887), S. 289.

nur in feltenen Fällen zur Aufnahme wagrechter Kräfte genügend; anderfeits hat es Bedenken, die übrigens ganz auf dem beweglichen Trägerrofte ruhende Decke mit der unbeweglichen Wand in fefte Verbindung zu bringen. Es wird daher in den meiften Fällen entlang der Abfchlufswand noch ein Träger zu legen fein, der nun dem vollen Seitenfchube ausgefetzt wird und daher der Verankerung bedarf. Stellt man zu diefem Zwecke mittels feft angezogener Bolzenanker eine das letzte Gewölbe umfaffende Verbindung des vorletzten mit dem letzten Träger her, fo kann man den fo entftandenen Körper als einen wagrecht liegenden Träger anfehen, deffen äufsere Gurtung vom letzten, deffen innere Gurtung vom vorletzten und deffen Wand von der letzten Kappe, verbunden mit den Zugankern, gebildet wird; diefer mufs nun im Stande fein, den vollen Schub der vorletzten Kappe auf die freie Länge des überdeckten Raumes zu tragen.

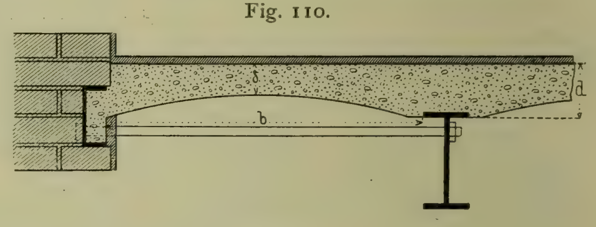
Fig. 109.



Die beiden letzten Träger werden fonach bei voller Belaftung der beiden letzten Kappen am ungünftigften, und zwar in dreierlei Weife beanfprucht:

1) Als Träger auf zwei Stützen von der Breite des überdeckten Raumes in lothrechtem Sinne durch die volle Laft der Kappen; diefe Beanfpruchung fällt für den letzten Träger weg, wenn man ihn in die Mauer oder auf einen Mauerabfatz lagern kann, wie in Fig. 110.

Fig. 110.



2) Der letzte Träger an der Wand als continuirlicher Träger, deffen Oeffnungsweite gleich der Ankertheilung ift, in wagrechtem Sinne durch den von den Ankerzügen als Stützendrücken aufzuhebenden Schub der belafteten letzten Kappe; diefe Beanfpruchung fällt für den vorletzten Träger aus, weil fich an ihm die Schübe von beiden Seiten her ausgleichen.

3) Als Gurtungen eines Trägers, deffen Höhe gleich der Trägertheilung ift, in wagrechtem Sinne durch den vollen Schub der belafteten vorletzten Kappe.

Auf diefer Grundlage wird in Kap. 6 die Bemeffung derartiger Decken vorgenommen werden.

Will man die Kappenfchübe unmittelbar in jeder Kappe aufheben, fo ift die in Fig. 111 u. 112 dargeftellte Anordnung von Flacheifen zu empfehlen, da die Lochung aller Träger für Rundeifenanker höchft unbequem ift.

Fig. 111.

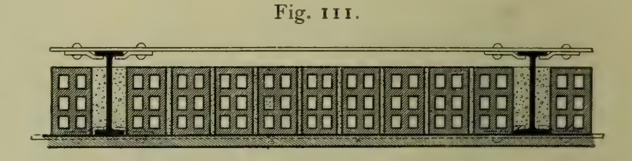
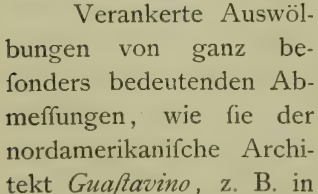


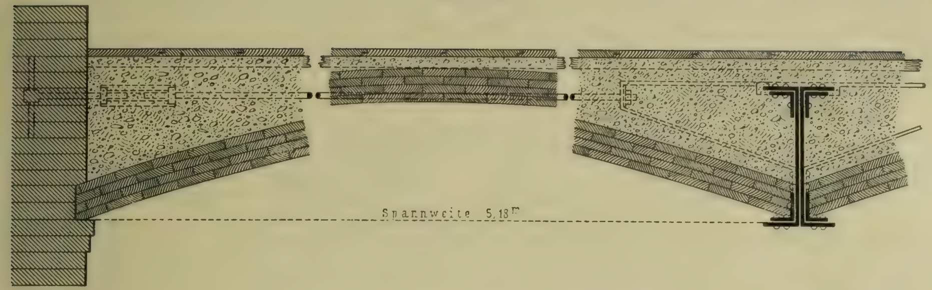
Fig. 112.



Verankerte Auswölbungen von ganz befonders bedeutenden Abmeffungen, wie fie der nordamerikanifche Architekt *Guaftavino*, z. B. in der öffentlichen Bibliothek zu Bofton[83]), dem Gebäude des Arion-Club und vielen Wohngebäuden in New-York, fo wie auch in Speichern und Seidenwebereien zu Barcelona ausgeführt hat, find in Fig. 113 u. 114 dargeftellt.

83) Siehe: *Engng. news*, Bd. 24 (1889), S. 434.

Fig. 113.

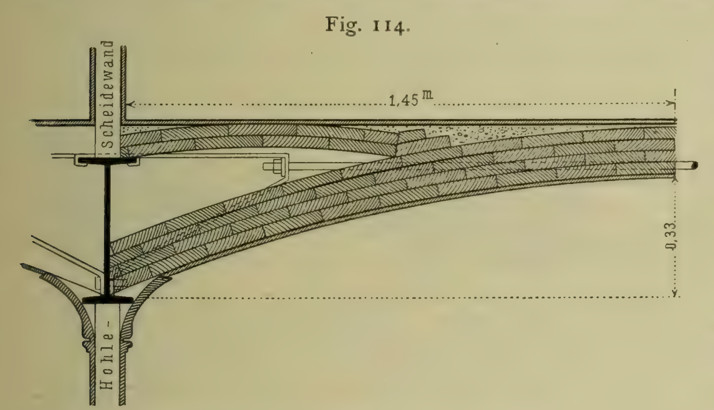


Vom Haus des Arion-Club zu New-York.
1/80 n. Gr.

Die Wölbung wird in gebrannten Thonplatten von $30 \times 15 \times 2{,}5$ cm, die unterfte Schicht in einem fchnell bindenden Patent-Mörtel, die übrigen in gewöhnlichem Cementmörtel verfetzt, ausgeführt. Man kann fich hiermit der im einzelnen Falle erforderlichen Stärke fehr genau anfchliefsen, während die vollen Backfteine in diefer Beziehung fehr unhandlich find. Die Unterfläche der unterften Schicht wird auch glafirt ausgeführt.

Die Bogenzwickel find in Fig. 113 mit leichtem, magerem Beton überftampft, der den Träger ganz einhüllt; in den Beton find leichte Fufsbodenlager eingeftampft, auf denen ein Bretterfufsboden befeftigt ift. Um das fo entftehende bedeutende Gewicht zu vermeiden, find in Fig. 114 Hohlräume in den Bogenzwickeln durch Auffetzen kleiner Kappen auf die grofsen gelaffen. Die Verankerung ift aus Rundeifen und Flacheifenbogen fo angeordnet, dafs fie leicht in Spannung verfetzt werden kann, ganz im Mauerwerk bleibt, alfo dem Feuer nicht ausgefetzt ift, und die Träger möglichft in ganzer Höhe fafft.

Fig. 114.



Decken in Miethhäufern zu New-York.
1/20 n. Gr.

Feuerficher ift aber diefe Decke nicht vollkommen, da das Feuer die Träger von unten erreichen kann; denn auch in Fig. 114 ift eine nothdürftige Deckung der Träger nur da erreicht, wo Zwifchenwände unter ihnen ftehen.

Die Spannweite der einzelnen Kappen wird bei $^1/_{10}$ Pfeilverhältnifs bis zu $12{,}2$ m ausgeführt, wobei die Anzahl der Plattenfchichten von 2 bis 6 fteigt; 3 Schichten reichen unter gewöhnlichen Verhältniffen bei $3{,}7$ m. Der Preis diefer Decke für 1 qm wird je nach der Dicke der Wölbung von der geringften bis zur gröfsten zu $13{,}5$ bis $31{,}6$ Mark für 1 qm angegeben.

Nach angeftellten Verfuchen ift die Tragfähigkeit diefer Deckenart bei 10-facher Sicherheit gegen Bruch ermittelt, wie in nachftehender Tabelle angegeben ift:

Stichbogentonne			Böhmifche Kappe		
Weite	Anzahl der Plattenfchichten	Tragfähigkeit	Weite	Anzahl der Plattenfchichten	Tragfähigkeit
1,5	2	4820	1,5 bis 3,7	2	4000
1,5 bis 3,7	3	3000	3,7 bis 4,9	3	4520
3,7 bis 4,9	4	3000	4,9 bis 6,1	4	4800
4,9 bis 6,1	5	3000	6,1 bis 7,3	5	5000
6,1 bis 7,3	6	3000			
Meter		Kilogr. für 1 qm	Meter		Kilogr. für 1 qm

Beim Zerreifsen zweier Probetafeln aus mehreren mit Cement verbundenen Platten auf einer *Fairbanks*-Mafchine ergaben fich die nachfolgenden Zugfeftigkeiten:

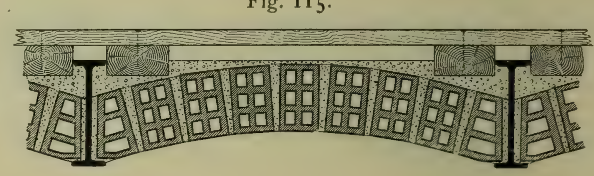
Des Probeftückes	1. Probe (2 Jahre alt)	2. Probe (2 Jahre $2^1/_2$ Monate alt)
Länge und Breite . . .	31,8 cm	31,8 cm
Dicke	8,3 cm	7,6 cm
Querfchnitt	264 qcm	242 qcm
Bruchlaft	60,4 t	23,3 t
Feftigkeit für 1 qcm . . .	230 kg	96,5 kg.

Eine befondere Abart diefer Wölbung bildet das Zackengewölbe [84]), welches bei geringer Weite aus gewöhnlichen Mauerziegeln, bei gröfseren Weiten aus Wölbziegeln hergeftellt werden foll, und zwar erfolgt die Wölbung in *Moller*'fcher Art auf einer Holzlehre, welche der durch Vorfpringen der Steinkanten zackig gebildeten Unterfläche entfprechend ausgefchnitten ift. Der Bogen erhält, nahezu wie ein fcheitrechter geformt, fehr geringen Pfeil. Die zur Aufnahme des Putzes rauh geformte Unterfläche und der geringe Pfeil werden als befondere Vortheile gerühmt, jedoch erzeugt letzterer einen ftark vergröfserten Schub; erftere ruft ungleichmäfsige und ungewöhnliche Stärke des Putzes hervor. Die Anordnung ift einer fehr flachen Auswölbung in keinem wefentlichen Punkte überlegen.

62.
Auswölbung mit hohlen Kunftfteinen.

Die Auswölbung mit Hohlziegeln und Lochfteinen (Fig. 111 u. 115) wird wie die vorige ausgeführt, wobei der Kämpfer entweder in Mörtel oder, da die Lochfteine [85]) kein Zuhauen geftatten, in entfprechenden Formfteinen anzulegen ift. Die Bemeffung der Kappen kann wie jene bei Verwendung von Vollfteinen erfolgen, da die Tragfähigkeit von der der vollen Kappen nicht erheblich verfchieden ift [86]).

Fig. 115.



Nach franzöfifchen Verfuchen [87]) kann eine derartige Kappe bei 4 m Weite, 0,11 m Stärke und $^1/_{10}$ Pfeil unbedenklich mit 1000 kg auf 1 qm belaftet werden. In der allgemeinen Anordnung auch des Fufsbodens weicht diefe Anordnung von der vorigen nicht ab. Fig. 115 zeigt insbefondere einen hölzernen Fufsboden, welcher wegen der geringen Trägerhöhe nicht unmittelbar auf der Ueberfüllung des Bogens ruht. Wegen des geringen Gewichtes der Hohlziegel (etwa 1200 kg für 1 cbm) können die Träger diefer Decken nicht unerheblich leichter fein, als die der Wölbungen aus Vollfteinen.

Auch die Ausfetzung der Fache mit Hohlfteinen nach Fig. 111 u. 112, welche nur fehr geringe Höhe beanfprucht, hat fich nach franzöfifchen Verfuchen [88]) als ebenfo tragfähig bewiefen, wenn nach *Bleuze* die in Fig. 111 angegebenen Flacheifenverbindungen der Trägerflanfche oben und unten in etwa 1,0 m Theilung angebracht und die Fugen in Cementmörtel hergeftellt werden.

Eine gleichfalls leichte Decke liefert die $^1/_4$ Stein ftarke Auswölbung nach Fig. 116 [89]). Die ganz ungelochten Träger nehmen mittels eingefetzter Holzklötze

---

[84]) Siehe: Bautechniker 1884, S. 173 (Patent *Schober*).

[85]) Ueber die Feftigkeit der Lochfteine fiehe Theil I, Band 1, erfte Hälfte (S. 85) diefes »Handbuches«.

[86]) Eine einfchlägige Conftruction vom *Lycée Janfon de Sailly* zu Paris, bei welcher die 26 cm hohen I-Träger paarweife gelegt find, die lichte Weite der Kappen 1,90 m, die Pfeilhöhe 16 cm, die Wölbdicke im Scheitel 8 cm und jene am Kämpfer 11 cm beträgt, ift befchrieben in: *Le génie civil* 1885, S. 19.

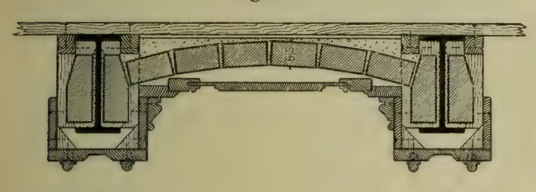
[87]) Siehe: *Annales induftr.*, Bd. 7 (1883), S. 135.

[88]) Siehe ebendaf., Bd. 7 (1883), S. 5 u. ff.

[89]) Vergl. auch: Centralbl. d. Bauverw. 1887, S. 409.

kleine, mit ihrer Oberkante mit den Trägern bündig liegende Leiften auf, welche den Fufsboden tragen. Diefer ruht nicht unmittelbar auf der wenig tragfähigen Füllung, fondern überträgt die Verkehrslaft unmittelbar auf die Träger. Die Füllung ift aus flach liegenden, poröfen Steinen gebildet, welche gewölbeartig auf in die Trägerflanken gefetzten Kämpferftücken ruhen. Die Fugen find mit Kalkmörtel gefüllt.

Fig. 116.



Um die Dichtigkeit zu erhöhen, ift diefe Wölbung oben mit einer dünnen Sandfchicht abgeglichen. Die Wölbung verfpannt zugleich die Holzklötze fo, dafs fie nicht aus den Trägern fallen können. Unter der Füllung ift an den Klötzen die Trägerverfchalung verfchraubt, welche auf ihrer Oberkante die in Rahmen und Füllung gearbeitete Deckentäfelung trägt.

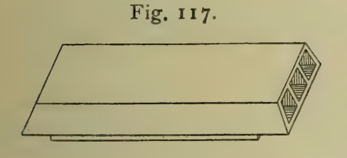
Da das Gewicht der poröfen Steine bis auf 1000 kg für 1 cbm finkt, fo hat diefe im Aeufseren reiche, trotzdem nur wenig Höhe einnehmende Decke ein fehr geringes Gewicht. Sie geftattet jedoch keine fehr weite Trägertheilung, da der ununterftützte Fufsboden bei grofser Weite der Fache und gewöhnlicher Stärke zu grofse Durchbiegungen annehmen würde. Die gewöhnliche Trägertheilung ift auch hier 75 cm.

Wird diefe $^1/_4$ Stein ftarke Wölbung aus gut gebrannten poröfen oder Lochfteinen in Cement- oder verlängertem Cementmörtel ausgeführt, fo kann man fie den in Wohnräumen gewöhnlich vorkommenden Laften unbedenklich ausfetzen, alfo den Fufsboden auf die Kappen wirklich auflagern.

Nahe verwandt mit den Hohlziegeldecken find die in Frankreich und Amerika verbreiteten Zwifchendecken aus hohlen Gyps- oder Terracotta-Kaften, welche in fehr verfchiedenartigen Formen vorkommen und bei denen die Träger zweckmäfsig mittels der von *Bleuze* zuerft angegebenen, in Fig. 111 u. 112 dargeftellten Flacheifen mit einander verfpannt werden.

Hohle Gypsblöcke (Fig. 112) trugen bei Verfuchen *Oudry*'s [88]), bei 16 cm Höhe, 100 cm Trägerentfernung, Füllung der Fugen mit Gyps und 30 Procent Hohlraum, durch 6 Wochen 3000 kg auf 1 qm, ohne Spuren des Nachgebens zu zeigen. Ein Gewicht von 200 kg, welches 3 m hoch mitten auf eine 70 cm weite und 16 cm ftarke Füllung fiel, fo wie ein folches von 370 kg, welches auf diefelbe Füllung, aber mit untergelegten Querftäben nach Fig. 111 u. 112 in 50 cm Theilung von 1 m Höhe fchlug, brachten keine Formänderung hervor. *Ginain* erzielte auf 12 cm hohen Füllungen mit 3140 kg Laft auf 1 qm eben fo wenig Zerftörungen; dabei zeigten die nur fchwach verfteiften Träger keinerlei feitliche Ausweichung.

Fig. 117.



Hohlziegel gewöhnlichen Formates (Fig. 111) mit etwa 40 Procent Hohlraum zeigten ähnlich günftige Verhältniffe, und Terracotten nach *Perrière* (Fig. 117 [90]), welche in der Fabrik *Derain & Dinz* bei Châlons-fur-Saône in Längen von 55 bis 70 cm, bei 20 cm Fufsbreite, angefertigt werden, haben bei Verfuchen im *Confervatoire des arts et métiers* zu Paris eine Tragfähigkeit von über 2000 kg für 1 qm gezeigt.

Eine deutfche Ausführung einer tragenden Gyps-Zwifchendecke aus dem Gerichtshaufe zu Frankfurt a. M. [91]) zeigt Fig. 118.

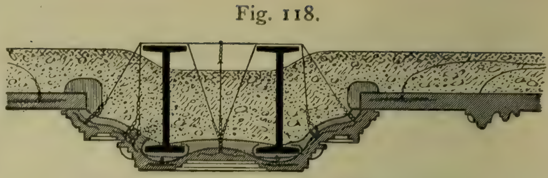
Zunächft wurde die Deckenbekleidung mit 3 Hanfgewebe-Einlagen gegoffen und fertig unter die Träger gebracht, indem man Bindedrähte an die mit eingegoffenen verzinkten Drahtenden anknüpfte. In die Bekleidungstafeln der Felder waren bügelartig nach oben vorragende Drähte zu inniger Verbindung mit den übrigen Schichten der Decke eingegoffen.

[90]) Siehe: Schweiz. Bauz., Bd. 5 (1885), S. 16. — *Le génie civil* 1885, S. 19.

[91]) Nach: Centralbl. d. Bauverw. 1888, S. 275.

Nach genauer Einpaffung diefer Bekleidung wurde eine weitere Gypslage mit Hanfgewebe-Einlagen eingebracht, um die Bekleidungsftücke mit den Trägern ficherer, als durch die Bindedrähte zu vereinigen. Weiter wurden Gypsleiften eingeftrichen, um die Fugen zwifchen der Trägerbekleidung und den Bekleidungstafeln der Fache ficher zu decken und diefe Tafeln am Verfchieben zu hindern. Diefe Körper genügten, um als Rüftung für die weiteren Arbeiten zu dienen.

Fig. 118.



Vom Gerichtshaus zu Frankfurt a. M.

Nun wurde eine dicke Lage aus Gyps mit Kalkbrei und Kiefelfteinen eingefüllt, und fchliefslich der Feuerficherheit wegen eine nach den Trägern bogenartig heruntergezogene Kies-Betonfchicht aufgeftampft. Das Einbringen der Schichten erfolgte fo, dafs alle unmittelbare Verbindungen mit den Nachbarn eingehen konnten.

Die Tragfähigkeit diefer Decke ift nicht geringer, als die einer guten Betonkappe, und Erfchütterungen find nicht im Stande, die reiche Gypsdecke zu verletzen. Schwere fallende Gewichte fchlugen nur kleine Löcher, ohne die Umgebung zu verletzen. Die Koften der Decke betrugen für die Gypstheile je nach dem Reichthum der Ausfchmückung 12 bis 15 Mark, für den Beton 5,25 Mark für 1 qm.

Nach dem bereits in Art. 35 (S. 44) erwähnten Patent *Laporte* ift in Frankreich auch die Auswölbung eiferner Träger mit Terracotten [92]) gebräuchlich, welche für wagrechte und gewölbte Unterfläche in Fig. 119 u. 120 dargeftellt ift. Die Formftücke werden für Trägertheilungen von 65, 70 und 75 cm, fo wie für Trägerhöhen von 12 bis 22 cm von der *Société anonyme de la Grande Tuilerie de Bourgogne* zu Montchanin-les-Mines in der Weife hergeftellt, dafs die Seitenftücke für alle Fachweiten gleich breit, nämlich 21,5 cm in der Mitte, die Schlufsftücke für die verfchiedenen Weiten 17,5, 22,5 und 27,5 cm breit, alle Stücke 32 cm lang geformt werden; die Wandftärke beträgt 2,0 bis 2,5 cm. Die Stofsfugen werden in beiden Randreihen bündig, in der mittleren um 16 cm, d. h. die halbe Stücklänge, verfetzt angeordnet. Die 1 cm weiten Fugen werden in Gyps oder Cement gefetzt; auf der Unterfeite der Stücke find Längsrillen eingeformt, welche das mechanifche Anhaften des unmittelbar unter die Terracotten zu bringenden Deckenputzes bezwecken.

Fig. 119.

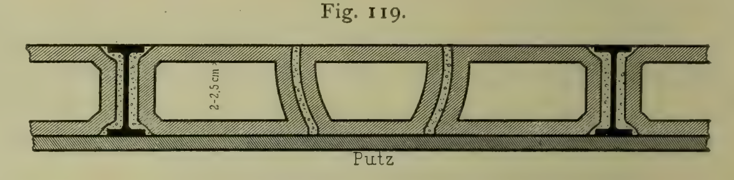
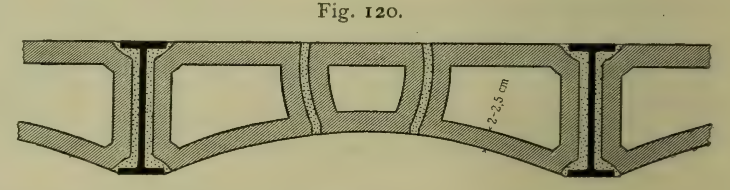


Fig. 120.



Ueber die Tragfähigkeit diefer offenbar dichten und für den Schall fchwer zu durchdringenden, dabei trockenen Deckenfüllung find Verfuche vom *Confervatoire des arts et métiers*, von der *Société centrale des architectes* und der *Société nationale des architectes*, fämmtlich in Paris, angeftellt, welche die nachfolgenden Ergebniffe lieferten [93]).

Auf die unten flache Decke nach Fig. 119 wurde 84 Stunden nach der Herftellung auf die halbe Breite eines Trägerfaches Eifenballaft aufgepackt. Es erfolgte der Bruch bei 65 cm Trägertheilung unter 7380 kg Auflaft auf 1 qm, bei 70 cm Theilung unter 7300 kg Auflaft und bei 75 cm Theilung unter 6710 kg. Noch gröfser erwies fich die Tragfähigkeit der unten gewölbten Decke nach Fig. 120; die Terracotten für 12 bis 14 cm hohe Träger brachen unter 11 350 kg gleichförmiger Laft auf 1 qm, die für 14 bis 16 cm

[92]) Siehe: *Annales induftr.*, Bd. 7 (1883), S. 5 u. ff. — Deutfche Bauz. 1886, S. 202.

[93]) Nach: *Annales induftr.*, Bd. 7 (1883), S. 110, 139.

Trägerhöhe bei 15510 kg und die für 18 bis 22 cm Höhe bei 14 000 kg. Es erſcheint ſomit zuläſſig, die Belaſtung einer derartigen Decke bis zu 1500 kg auf 1 qm zu ſteigern, während man für die unten ebenen Stücke etwa bis 800 kg für 1 qm gehen kann.

Dieſe Decken-Conſtruction hat vor den meiſten anderen in die Augen ſpringende Vorzüge. Sie iſt dem Bauſtoffe nach an ſich trocken, beſtändig gegen Feuersgefahr und wegen der 50 bis 60 Procent des Inhaltes betragenden Hohlräume ſehr leicht, dabei ſchwer durchdringlich für Schall, Wärme und Feuchtigkeit. Die entſtehenden weiten Canäle kann man ſogar zu Lüftungszwecken benutzen. Naturgemäſs kann ſie aber in ausgedehntem Maſse nur Anwendung finden, wenn die Herſtellung der Terracotten ſo geſteigert iſt, daſs dieſe gängige Handelswaare werden, da das Anfertigen in kleiner Zahl zu theuer werden würde. Auch dann wird der Preis vergleichsweiſe hoch bleiben.

Die Fachfüllung kann eben ſowohl Eſtriche, wie auch hölzerne Fuſsböden auf Lagerbohlen aufnehmen; das Anbringen der letzteren bedingt dann das Einſetzen einzelner Holzdübel in die Stoſsfugen der Terracotten mittels Cement.

Fig. 121.

Einige Beiſpiele von derartigen amerikaniſchen Ausführungen zeigen Fig. 121, 122, 123 u. 124 [94]). Dieſe Conſtructionen haben ſämmtlich die Geſtalt von ſcheitrechten Bogen aus hohlen Terracotta-Kaſten und beſitzen groſse Tragfähigkeit. Ein beſonderer Werth wird hier, im Gegenſatze zu den franzöſiſchen Anordnungen, darauf gelegt, die Träger auch mit dem Unterflanſch dem Feuer zu entziehen. Eine derartige Anordnung mit gebrannten Thonflieſen wurde ſchon in Art. 57 (S. 60) und eine ſolche für Vollſteine in Art. 61 (S. 63) vorgeführt; in Fig. 121 u. 124 umgreifen die Hohlſteine den unteren Trägerflanſch — wie in Fig. 125 (rechter Träger links) die Vollſteine — vollſtändig, ſo daſs durch die unter dem Träger liegenden Lufträume ein beſonders wirkſamer Schutz entſteht. Die Fugen ſind in Fig. 121 durch rechteckige Nuthen in den Lagerflächen der Hohlſteine, in welche der Mörtel federartig eingreift, beſonders geſichert.

Fig. 122.

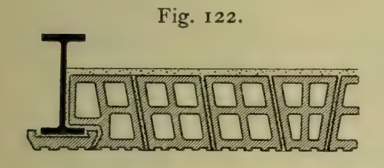
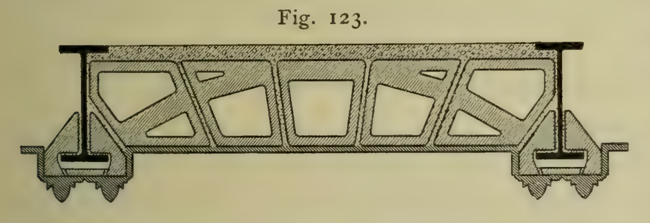


Fig. 123.



In Fig. 122 iſt der Schutz der Träger bei fehlendem Luftraume weniger wirkſam durch unmittelbar unter den Flanſch gelegte Thonplatten erzielt, welche, zuerſt verlegt, ſchwalbenſchwanzartig von den Rändern der Hohlſteine umfaſſt werden. Die Hohlſteine ſind unten für die Aufnahme des Putzes ſchwalbenſchwanzförmig genuthet.

Fig. 124.

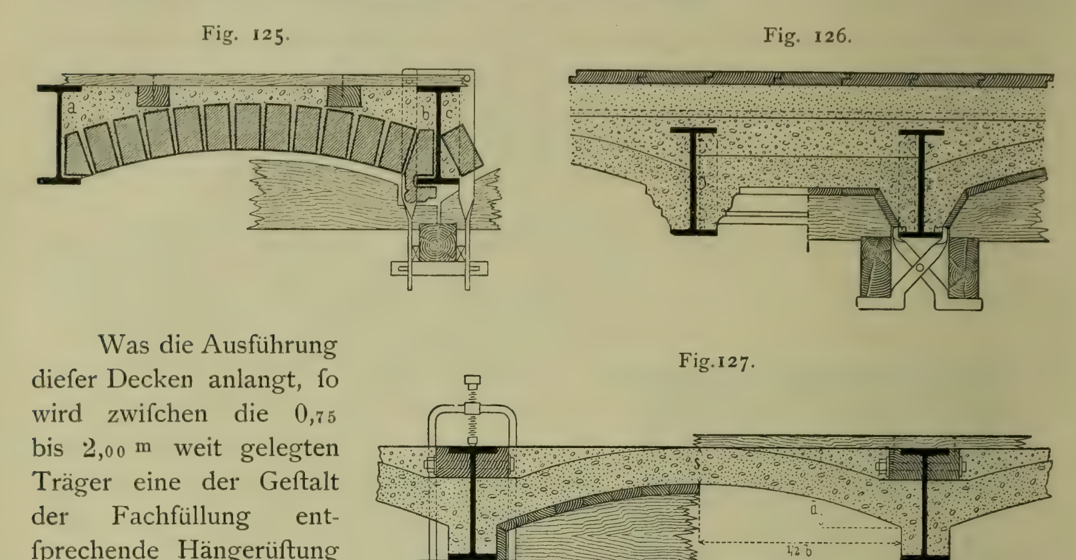
In Fig. 123 iſt gleichfalls eine keilförmige Thonplatte unter die Träger geſetzt, aber ſo tief, daſs ein Luftraum darüber bleibt und ein ſehr wirkſamer Schutz des Trägers durch Putzplatte und Hohlraum erzielt wird. Die

[94]) Siehe: Centralbl. d. Bauverw. 1886, S. 32; 1887, S. 435, 451. — *American engineer*, Bd. 13 (1887), S. 230. — *Engng. news*, Bd. 25 (1890), S. 368.

Form der Terracotta-Kaften ift hier fo gewählt, dafs aus dem befonders kräftigen Schrägftege der Seitenftücke und der Oberfeite des Schlufsftückes beim Zufammenfügen ein fehr wirkfamer Bogen entfteht.

Der Schutz der Eifenträger durch feuerfichere Umhüllung ift, wie fich bei einer Reihe von Bränden gezeigt hat, äufserft wichtig.

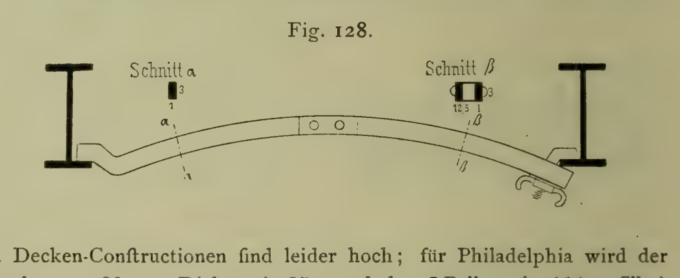
Fig. 125. Fig. 126.



Was die Ausführung diefer Decken anlangt, fo wird zwifchen die 0,75 bis 2,00 m weit gelegten Träger eine der Geftalt der Fachfüllung entfprechende Hängerüftung nach Fig. 125, 126, 127 oder 128 eingebracht, welche nach dem Erhärten der Einwölbung leicht wieder zu befeitigen ift und wo möglich der Unterftützung von unten nicht bedarf.

Fig. 127.

Fig. 128.



Die Preife diefer vorzüglichen Decken-Conftructionen find leider hoch; für Philadelphia wird der Preis der in Fig. 124 dargeftellten Decke von 39,5 cm Dicke mit 25,4 cm hohen I-Balken in 114 cm Theilung, einfchl. Fufsboden und Deckenputz, zu 36,8 Mark für 1 qm angegeben.

b) Ausfüllung der Trägerfache mit künftlichen Steinplatten.

63. *Schneider*'s Decken-Conftruction.

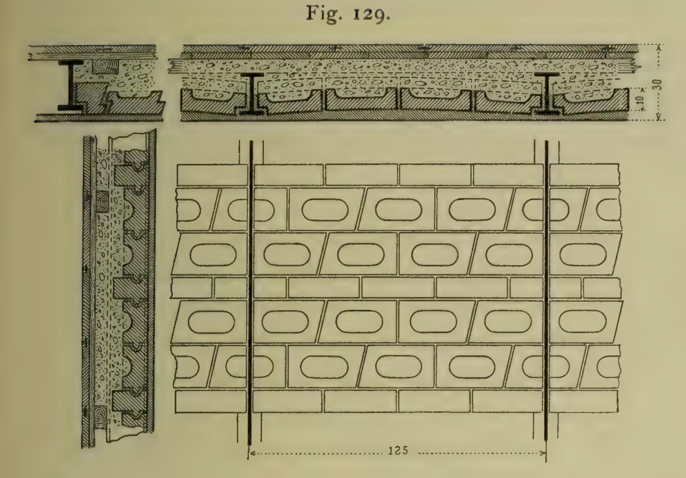
Hierher gehört zunächft die Ausfetzung der Trägerfache mit Doppelkeilziegeln nach *Schneider* in Wien, in Fig. 129 [95]) in zwei verfchiedenen Anordnungen dargeftellt. Möglichfte Leichtigkeit ift angeftrebt dadurch, dafs man die plattenartigen, nur etwa 10 cm dicken Ziegel von oben her topfartig aushöhlt. Die Stücke greifen mit fchräg gefchnittenem Falze oder mit Halbkreisnuth und Feder allfeitig in einander, wobei für das Auffetzen auf die Trägerflanfche entweder befondere Formftücke verwendet oder gewöhnliche Stücke ausgeklinkt werden.

Der Pfeil wird fo flach — mit $^1/_{16}$ bis $^1/_{150}$ Pfeilverhältnifs — gewählt, dafs die Anordnung einem fcheitrechten Bogen nahe kommt und fomit unmittelbares Putzen der Decke auf der rauhen Steinunterfläche geftattet. Um aber die Tragfähigkeit zu erhöhen, werden in gewiffen Abftänden, in Fig. 129 hinter je zwei Topfreihen, ftärkere Rippen aus hochkantig ftehenden vollen Stücken eingefetzt, welche mit den flachen Theilen auch durch Falzung oder Nuth und Feder in Verbindung ftehen.

---

95) Siehe: *Engng. news*, Bd. 25 (1890), S. 129. — Deutfche Bauz. 1889, S. 542.

Fig. 129.



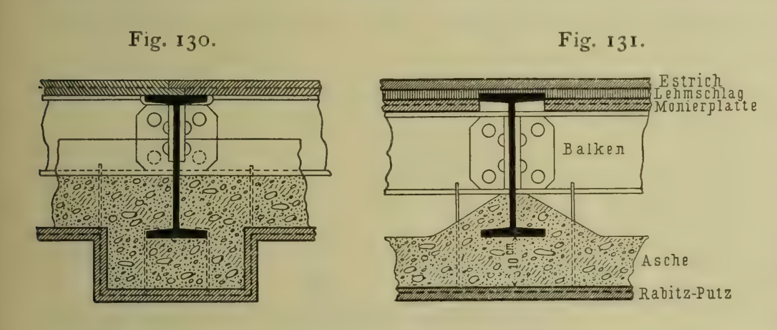
Das Gewicht der Ziegel beträgt für 1 qm etwa 200 kg; die Koften find 6,25 Mark.

Die in Wien vorgefchriebene Belaftungsprobe der Wohnräume mit 400 kg für 1 qm hält die Decke ohne erkennbare Formänderung aus. Abgefehen von der wagrechten Verbindung der Schichten unter einander ift diefe Fachfüllung einem fchwachen fcheitrechten Bogen aus Vollfteinen wohl nicht überlegen.

64.
Vorfchläge von *Stolz*.

Auch einige der *Stolz*-fchen Vorfchläge für feuerfichere Decken [96]) mit eifernen Balken find hier anzuführen, nämlich die in Fig. 130 u. 131 dargeftellten. In Fig. 130 find die Balken oben gegen den Unterzugträger gefetzt, fo dafs diefer nach unten vortritt und mittels eines rechteckigen Kaftens von *Rabitz*- oder *Monier*-Maffe mit Afchenfüllung eingehüllt werden muffte. Diefer Vorfprung entfpricht wegen der Bildung von hohlen Ecken den in Art. 56 (S. 58) entwickelten Grundfätzen nicht ganz; doch wird die Feuerficherheit nicht wefentlich beeinträchtigt, weil felbft fehr hohe Hitzegrade die Träger nicht in gefährlichem Mafse erwärmen können. Die Decke wird bei diefer Anordnung übrigens vergleichsweife dünn. Will man trotz des Vorragens des Unterzuges eine ebene Unterfläche haben, fo mufs man den die Afche tragenden Putz entfprechend tief hängen (Fig. 131), alfo die ganze Decke dicker machen.

Fig. 130. Fig. 131.



Um die Träger auch von oben zu decken, ift zunächft eine Lage von *Monier*-Tafeln aufgelegt, welche in Fig. 130, 5 cm dick Träger und Unterzug deckend, zugleich den Fufsboden bildet und fo nur mäfsigen Schutz gewährt.

Um ebene Lagerung zu ermöglichen, muffte den Balken im Anfchluffe der obere Flanfch genommen werden. In Fig. 131 liegt die Balkenoberkante fo weit unter der Oberkante des Unterzuges, dafs diefe etwa bündig mit den *Monier*-Platten bleibt; über das Ganze ift dann ein dünner Lehmfchlag gebreitet, der einen Eftrich aufnimmt. Diefe Anordnung giebt einen wirkfameren Feuerfchutz nach oben, als die in Fig. 130.

65.
Decke mit Gypsdielen.

Eine fehr gute Fachausfüllung wird nach Patent *Wayfs* [97]) mit *Mack*'s Gypsdielen (vergl. Art. 37, S. 46 u. Art. 47, S. 54), wie in Fig. 132 gezeigt ift, hergeftellt.

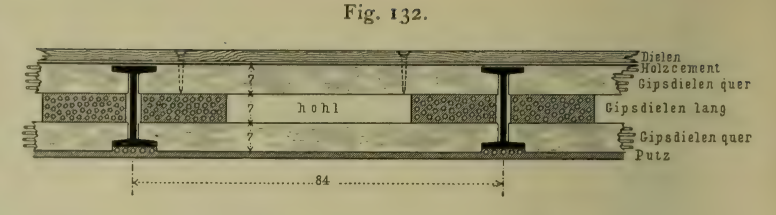
Auf die Unterflanfche wird eine Lage von Gypsdielen quer gelegt, nachdem fie an den Kanten fo ausgenuthet find, dafs die Unterfläche mit der der Träger bündig wird; hierauf werden entlang den Trägern je zwei Reihen Gypsdielen längs gelegt und darauf wieder eine Lage in der Querrichtung. Die

[96]) Siehe Art. 56 (S. 58) und: Centralbl. d. Bauverw. 1888, S. 3.

[97]) Siehe: Centralbl. d. Bauverw. 1890, S. 65.

Dicke wird fo bemeffen, dafs die oberfte Lage wieder bündig mit den Trägern liegt. Man kann nun oben den etwa nothwendigen Fufsboden unmittelbar auf die Gypsdielen fchrauben, nachdem alle Fugen forgfältig mit Gyps gedichtet find, und die rauhe Unterfläche kann unmittelbar geputzt werden.

Fig. 132.



Diefe Decke ift fehr dicht für Wärme und Schall, reichlich tragfähig für die gewöhnlichen Laften und vergleichsweife fehr leicht; fie nimmt wenig Höhe in Anfpruch und befitzt auch einige Widerftandsfähigkeit gegen Feuer, da die Gypsdielen felbft nach Zerfallen des Gypfes in der Hitze noch einigen Zufammenhalt bewahren. Sorgfalt bedingt hier die Unterputzung der Trägerflanfche, welche fich leicht durch Riffe auszeichnet; in Fig. 132 ift angenommen, dafs der Putz durch unter die Träger gefpannte Rohrgewebe gehalten wird.

Die Gefahren mangelhafter Füllftoffe entfallen; Gerüfte zum Einbringen find nicht erforderlich; Feuchtigkeit ift ausgefchloffen; die Dichtigkeit gegen gröfsere Waffermengen ift namentlich dann vollkommen, wenn die oberfte Lage mit Cement eingedichtet wird; eingefchloffene Holztheile find nicht vorhanden. Auch die unmittelbare Auftragung eines Eftrichs ift möglich.

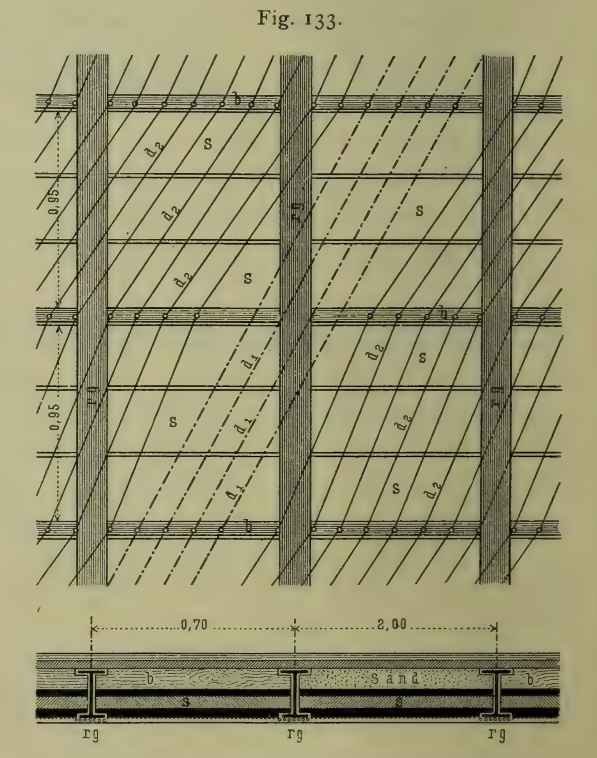
Der Preis der in Fig. 132 dargeftellten, für 6 m Weite berechneten Decke ift 17,8 Mark für 1 qm, wobei aber in das Gewicht fällt, dafs die geringe Dicke Erfparungen in den Wänden ergiebt.

Die Belaftungsproben ergaben bei einer Auflaft von 4250 kg für 1 qm keinerlei erkennbare Wirkung. Ein Gewicht von 55 kg, aus 2 m Höhe fallend, erzeugte oben einen 5 mm tiefen Eindruck und kleine Riffe an der Unterfeite der oberen Dielenlage; ähnliche Erfolge erzielte ein aus der Höhe von 3 m fallendes Gewicht von 25 kg. Die Deckenfläche ift hier alfo ganz befonders gut gegen Verletzungen von oben her gefchützt.

66.
Decke mit Spreutafeln.

Schliefslich ift hier die Decke aus Eifenträgern mit *Katz*'s Spreutafeln (vergl. Art. 37, S. 46 und Art. 48, S. 54 [98]) zu erwähnen, welche, nach dem Vorgange in Fig. 72 (S. 47) ausgebildet, in Fig. 133 dargeftellt ift.

Fig. 133.



Um hier die Drähte, welche das Auflager der Spreutafeln bilden, anbringen zu können, find zunächft Holzbohlen *b* zwifchen die Träger eingefetzt, welche die Riegel für die gerade oder im Zickzack in 10 cm Theilung gefpannten verzinkten Drähte d_1 und d_2 aufnehmen. Unter die Bohlen, wie unter die Träger find dann durch Streifen Dachpappe von den Holz- und Eifenflächen gefonderte, fchmale Rohrgewebe *rg* gefpannt, die Spreutafeln *s* dann verlegt und mit Gyps gedichtet, auf der rauhen Unterfeite unmittelbar unterputzt und mit Füllung bedeckt. Die Bohlenftücke *b* dienen erforderlichenfalls oben zugleich zur Befeftigung der Fufsbodenbretter, welche alfo

[98]) Siehe auch Theil III, Band 2, Heft 1 (Art. 172, S. 196) diefes »Handbuches«.

den Eifenbalken entlang laufen. In Fig. 133 ift auf einem folchen Blindboden dann ein Stab- oder Parquetboden angedeutet.

Da hierfür volles Auflager des Fufsbodens auf die Füllung mit ihren Gefahren nothwendig ift, eingefchloffene Holztheile nicht umgangen werden können, das Gewicht auch nicht unbeträchtlich gröfser ift, fo ift diefe Deckenanordnung, obwohl fie fonft ähnliche Vorzüge befitzt, doch nicht als fo vollkommen zu bezeichnen, wie die vorige. Was die Sicherheit der Deckenfläche anlangt, fo waren einige Arbeiter nicht im Stande, dem Deckenputze durch Hüpfen auf den unabgedeckten Spreutafeln fichtbare Verletzungen beizubringen. Uebrigens lieferten Belaftungsverfuche ähnliche Ergebniffe, wie die in Art. 37 (S. 47) angegebenen.

c) Ausfüllung der Trägerfache mit Beton.

67.
Steinfchlag-, Kies- u. Schlacken-Beton.

Von ganz befonderer Wichtigkeit find die in den letzten Jahren immer mehr verwendeten Decken aus Eifenbalken mit Betonausfüllung, unter welchen gewölbte und gerade Betondecken zu unterfcheiden find.

Bezüglich der zu verwendenden Betonmifchungen vergleiche man Theil I, Band 1, erfte Hälfte, wo auch die Bruchfeftigkeiten verfchiedener Mifchungen angegeben find. Als befonderer Bauftoff ift jedoch noch der Schlacken-Beton, aus Kohlenfchlacken und Cement- oder Kalkmörtel beftehend, anzuführen.

Die Firma *Odorico* in Frankfurt a. M. verwendet Schlacken-Beton aus 1 Theil Cement, 3 Theilen Sand und 7 Theilen Schlacken [99]) von Tauben- bis Hühnereigröfse. Bei verfuchsweifer Verwendung am Bau des Krankenhaufes zu Karlsruhe wurde 1 Theil Cement mit 6 Theilen Schlacken und etwas Sand [100]) gemifcht. Zu Ueberfüllungen von Tragbogen oder Platten aus Beton wird häufig, der Leichtigkeit halber, eine Mifchung von 1 Theil Weifskalk mit 8 bis 10 Theilen Schlacke verwendet, welche einen ziemlich hohen Grad von Zufammenhalt erreicht.

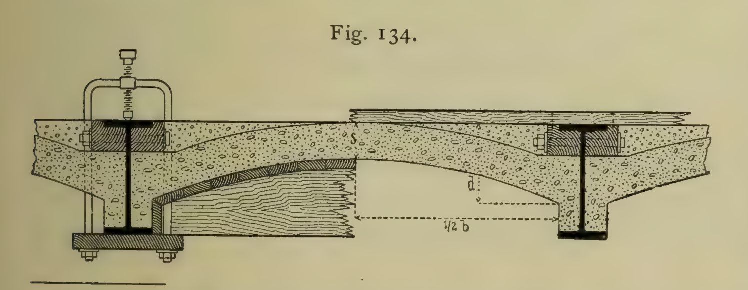
Die Zugfeftigkeit des Schlacken-Betons beträgt etwa das 0,7-fache [100]) derjenigen von Kies-Beton, während das Gewicht nur knapp 0,5-fach fo grofs ift.

1) Gewölbte Betondecken.
(Betonkappen.)

68.
Beton-mifchung.

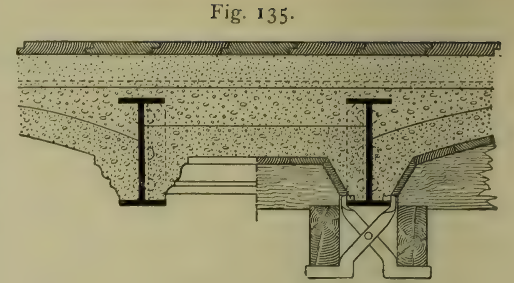
Den Pfeil der gewölbten Betondecken kann man fehr flach halten, da nach Ausweis in Kap. 6 felbft bei ftarken Laften und geringem Pfeile die Stärke des Bogens noch fo gering wird, dafs die Verwendung von Steinfchlag-Beton wegen der unvermeidlichen Löcher hier häufig ausgefchloffen erfcheint und man meift Kies- oder Schlacken-Beton verwenden mufs. Der flache Pfeil und die geringe Stärke kommen der Erleichterung der an fich fchweren Decke zu gute; um diefe Vortheile thunlichft auszunutzen, legt man den äufseren Bogenfcheitel in der Regel gleich hoch mit Trägeroberkante und füllt dann den unter dem Kämpfer verbleibenden Raum bis zum unteren Flanfch

Fig. 134.



99) Siehe: Deutfche Bauz. 1890, S. 46.
100) Siehe ebendaf., S. 7.

gleichfalls mit Beton aus (Fig. 134 u. 135) oder umhüllt den Balken unten noch vollständig mit Beton (Fig. 136).


Fig. 135.

Gewöhnlich enthält der gegrabene oder gebaggerte Kies an sich erhebliche Sandbeimengungen; solche Kiesarten werden meist im Verhältnisse von 5 Theilen Kies auf 1 Theil Portland-Cement gemischt. Bei sorgfältigerer Bereitung aus reinem Kies und Cementmörtel kann man jedoch gleich gute Erfolge mit magereren Mischungen erzielen.

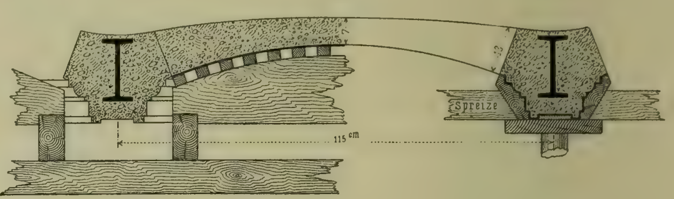
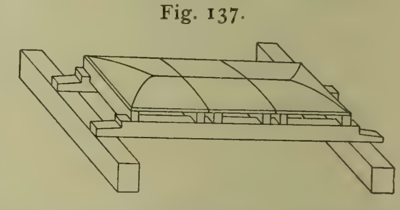


Fig. 136.

So sind die Gewölbe von schweizerischen Betonbrücken [101]) nach dem Verhältnisse 1 Cement, 2 Sand und 4 Kies gemischt, die Flügel nach 1 : 2 : 6, die Widerlager sogar nach 1 : 3 : 7 [102]).

69. Herstellung und Ausrüstung.

Die Herstellung erfolgt, indem man auf Hängerüstungen (Fig. 125, 128, 134 u. 135) oder unterstützter Einrüstung (Fig. 136 u. 137) unterhalb der Träger eine volle Schalung auf Bretterbogen herstellt und auf dieser den Beton in dünnen Lagen fest einstampft. Man beginnt hierauf mit der Füllung an den Trägern und schliesst sie allmählich nach dem Scheitel ab. Dabei ist die angegebene Mischung durchweg nur in der Stärke des Scheitels einzubringen; die Zwickel an den Trägern können, wie in Fig. 134 angedeutet ist, mit einer mageren Füllmischung, etwa magerem Schlacken-Beton, ausgefüllt werden, welche nur eben genügend abbindet, um keine Schübe zu äussern, und dabei möglichst leicht ist. Diese Ausfüllung wird mit oder oberhalb der Trägeroberkante abgeglichen und nimmt erforderlichenfalls nach Fig. 138, 139 u. 140 für die Befestigung hölzerner Fussböden etwas schwalbenschwanzförmig geschnittene Lagerbohlen auf, auf welchen die Bretter später vernagelt werden. In Fig. 134 sind die Lager an die Träger gebolzt; doch können die Bolzen in weiter Theilung sitzen, bei guter Ueberfüllung auch ganz fehlen. Um ein Quellen der Lagerhölzer in Folge Eindringens der Feuchtigkeit aus dem frischen Beton zu vermeiden, empfiehlt es sich, die Lagerhölzer vorher zu theeren oder mit Dachpappe zu umhüllen.


Fig. 137.

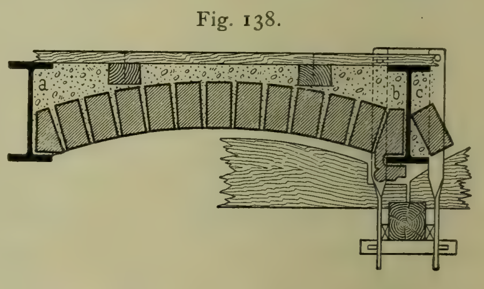


Fig. 138.

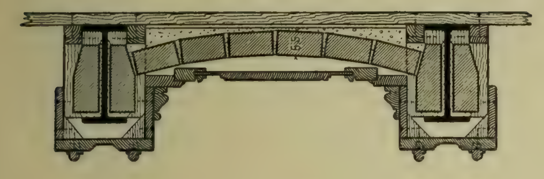
Bei nordamerikanischen Bauten hat man die Zwickelausfüllung dadurch leichter gemacht, dass man beim Einstampfen einige Zinkrohre mit offener Naht und verschiedenem Durchmesser je nach Gestalt der Zwickel in diese einlegte [103]). Die Rohre

[101]) Siehe: Schweiz. Bauz., Bd. 4 (1884), S. 136.

[102]) Ueber Versuche mit Betonkappen und Steinkappen siehe: Centralbl. d. Bauverw. 1883, S. 159.

[103]) Siehe: *Annales des travaux publics*, Bd. 9 (1888), S. 2118.

Fig. 139.



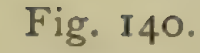
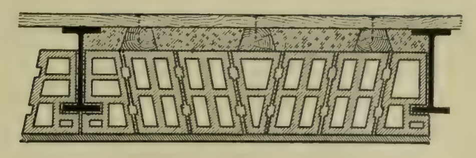


Fig. 140.



wurden im Inneren gegen den Auſsendruck in ſolcher Weiſe verſpreizt, daſs man dieſe Ausſpreizung vom freien Rohrende aus leicht auslöſen und herausziehen, dann den Rohrdurchmeſſer durch weiteres Aufwickeln verringern, alſo das Rohr herausziehen konnte. Die Rohre ſind hiernach für weitere vorzuſtreckende Kappentheile immer wieder verwendbar. Auf dieſe Weiſe iſt, namentlich bei groſsen Kappen und ſtarken Bogenpfeilen, eine ſehr erhebliche Erleichterung zu erzielen.

Die Hängerüſtungen, welche die Aufſtellung eines Stielgerüſtes unter der Decke (Fig. 136) erſparen, können in verſchiedenſter Weiſe angeordnet ſein. Fig. 134 u. 138 zeigen über die Träger greifende Eiſenbügel aus Flach- oder Rundeiſen, welche in Fig. 138 Lagerhölzer und in Fig. 134 Lagerbohlen für die Aufſtellung der Lehrbogen tragen und nach Fertigſtellung der Kappen nach unten (Fig. 138), bezw. nach oben (Fig. 134) herausgezogen werden; die bleibenden Löcher ſind zu verputzen.

Die Rüſtſcheere von *K. Michael* in Zwickau (Fig. 135 [104]) vermeidet die Löcher im Beton, da ſie ſich nur auf die untere Gurtung legt, und erleichtert das Ausrüſten erheblich. Sie iſt beſonders für das Einwölben von Steinkappen zu empfehlen, da bei dieſen das Hinaufführen der Bügel über die Träger unbequem iſt.

Fig. 141.

Die Rüſtung von *Spaniol* in Schiffweiler (Fig. 141 [104]) iſt einfach, da ſie Hängerüſtung und Bogen in einen Körper aus ſchwachem Bandeiſen vereinigt. Der Eiſenbügel iſt am einen Ende einfach, am anderen doppelt, an erſterem zur Lagerung auf die untere Gurtung gekrümmt und am anderen mittels Flügelſchraube im doppelten Flacheiſen leicht zu befeſtigen. Da die Flügelſchraube im Schlitze gleiten kann, ſo ſind nicht allzu ſehr verſchiedene Weiten mit demſelben Bügel einzurüſten. Die Eiſenbügel nehmen unmittelbar die Schallatten auf. Selbſtverſtändlich können dieſe Bügel auch ſo geformt werden, daſs ſie für vertiefte Felder, wie in Fig. 138 u. 134 paſſen [105]).

Die Ausrüſtung erfolgt bei den angegebenen Miſchungen früheſtens nach 10 Tagen; während dieſer Zeit iſt im heiſsen Sommer dauernde Feuchthaltung der Füllung durch leichtes Begieſsen, wenn möglich auch Bedecken mit einer feuchten Sandſchicht zu empfehlen. Noch einige Zeit nach der Ausrüſtung ſoll die Wölbung keinen ſchweren Laſten, namentlich keinen Stöſsen ausgeſetzt werden; ſelbſt für den Verkehr der Arbeiter lege man Laufbretter auf die Decke.

70.
Beiſpiele ausgeführter Betonkappen.

Im Nachſtehenden ſeien einige Beiſpiele von neueren ausgeführten Betonkappen vorgeführt.

α) Eine ganz beſonders ſtarke Anordnung dieſer Art zeigt Fig. 135 aus einem neuen Schulhauſe zu Mainz [106]). Hier ſind die Träger paarweiſe zuſammengelegt, was ſich für die Aufnahme der Schübe der Kappen als zweckmäſsig erweiſen kann (vergl. Kap. 6); in die engen Fache iſt eine gerade, in die weiten eine gewölbte Betondecke gelegt, welche dann eine bis über die Träger reichende Zwickel-

[104]) Siehe: Deutſche Bauz. 1886, S. 597.

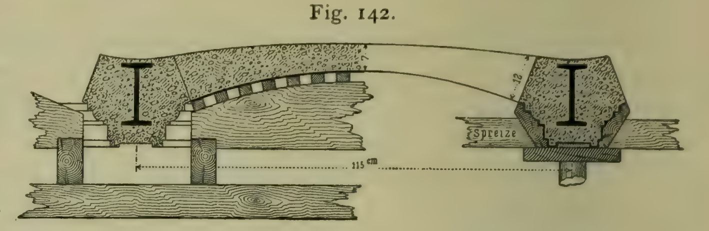
[105]) Vergl. ſonſt auch *Rilling* (D. R.-P. Nr. 3970), für verſchiedene Weiten und Pfeile, auch für ebene Platten unverändert verwendbar; ſo wie: Centralbl. d. Bauverw. 1889, S. 201.

[106]) Siehe: Deutſche Bauz. 1886, S. 3.

füllung trägt. Diefe ift dann wieder mit gewöhnlicher Bettung zur Aufnahme der Fufsbodenlager überdeckt. Um Gewicht und Koften diefer aufsergewöhnlich ftarken Decke thunlichft herabzumindern, ift die Zwickelfüllung in magerem Schlacken-Beton, aus leichten poröfen Schlacken mit Weifskalk ausgeführt, welcher für 1 cbm fertig 6 Mark koftete.

β) Im Gerichtshaufe zu Frankfurt a. M[107]) find feuerfichere Betondecken nach Fig. 142, 143, 144 u. 145 als abgewalmte Tonnen-Caffetten von den beiden Unternehmern *Löhr* und *Odorico* nach verfchiedenen Verfahren ausgeführt, indem jedes Feld eines rechtwinkeligen Roftes aus Balken und Zwifchenträgern mittels einer Kappe aus Beton von 8 Theilen Kiesfand, 1 Theil Cement und $^1/_4$ Theil Kalk gedeckt wurde.

Fig. 142.



Die Ausführung der ziemlich umfangreichen Arbeiten nach *Löhr* ift in Fig. 142, 143 u. 144 dargeftellt. Zunächft wurden hölzerne Kaften aus zwei Seitentheilen und einer Bodenbohle unter den Trägern fo zufammengefetzt, wie Fig. 142 rechts im Querfchnitt, 143 im Grundrifs zeigt. Die Seitenwände der Kaften bilden nach Fig. 143 verftrebte, rechtwinkelige Eckftücke, zwifchen welche keilförmig abgefchnittene Mittelftücke eingetrieben wurden, um einerfeits verfchiedene Längen der Felder mit denfelben Theilen einrüften, andererfeits das durch die Feuchtigkeit etwas quellende Holz leichter ausrüften zu können. Innen waren die Kaften mit genau nach dem verlangten Querfchnitte der Trägerhülle geformtem Zinkblech ausgefchlagen, das vor jeder Benutzung etwas gefettet wurde, damit der Cement nicht anbinden konnte. Diefe Kaften wurden zuerft mit einer dünnen Lage Cement genau ausgeftrichen, um fcharfe Kanten und ebene Flächen zu erhalten, und in diefe Maffe wurde der Beton, von unten nach oben magerer und grober werdend, um die Träger herum, unter genauem Abgleichen der Kämpferflächen für die Kappen, eingeftampft. Nach Abbinden diefes Körpers fetzte man die in Fig. 144 dargeftellte Kappenrüftung auf entfprechende Lagerhölzer in das Feld ein. Die Aufsenfläche auch diefer beftand aus gefettetem Zinkblech auf ganz dünner Lattung (Fig. 142 links); hierauf wurden auch die Kappen innen fetter, aufsen magerer und grober eingeftampft. Nach der Ausrüftung wurden die Nähte nachgefugt und mit dem Meffer gefäubert.

Fig. 143.

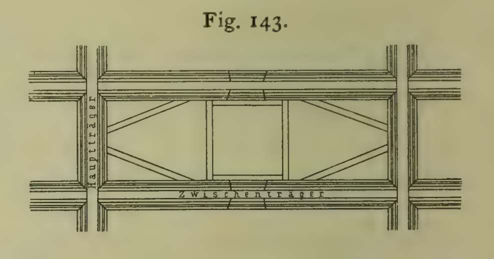


Fig. 144.

Die Befchaffungskoften diefer Einrüftung betrugen 15 Mark für 1 qm, wurden aber durch die Wiederverwendung fchliefslich fehr gering.

Die Firma *Odorico* verwendete dagegen die in Fig. 145 dargeftellte, aus Eifenblech und Gufseifenleiften durch Verfchraubung für die Trägerhülle und die Kappenlaibung gemeinfam hergeftellte Einrüftung auf Stielen und Bohlen unter den Trägern, in welche der gefammte Beton für beide Theile unten fett, oben magerer und grober auf einmal eingeftampft wurde. Damit die Arbeiter auf den Blechböden verkehren konnten, ohne diefe zu verdrücken, waren noch Rundeifen-Schrägfteifen eingefchraubt. Die Befchaffungskoften diefer Einrüftung betrugen 45 Mark für 1 qm.

Fig. 145.

Die Koften der Decke ohne Träger, Einrüftung und Fufsboden betrugen durchfchnittlich 6,5 Mark für 1 qm.

Bei der Probebelaftung riefen 3000 kg auf 1 qm noch keine erkennbare Veränderung des Gefüges hervor. Ein 2,5 m hoch fallendes Gewicht von 25 kg fchlug ein rundes Loch in die Kappe, ohne diefe fonft zu verletzen.

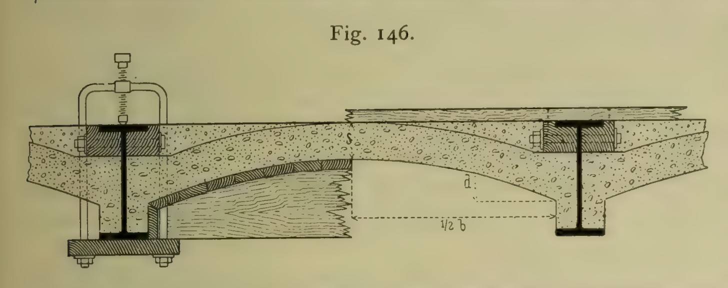
Die fämmtlichen zu malenden Innenflächen von Cementkörpern wurden mit kohlenfaurem Am-

[107]) Nach: Centralbl. d. Bauverw. 1888, S. 274.

moniak übergeftrichen, um als Grundlage für die durch frifchen Cement gefährdete Bemalung eine dünne Schicht kohlenfauren Kalkes zu erzielen.

γ) Bei Erweiterung des Bahnhofes zu Erfurt[108]) wurden Betonkappen in einer Ausdehnung von 3400 qm aus 1 Theil Cement und 8 Theilen ziemlich fandfreiem Kies mit 1,5 cm bis 2,0 cm Cement-Eftrich der Mifchung 1 Theil Cement und 2 Theilen Sand ausgeführt. Die Kappen hatten bei 1/10 Pfeilverhältnifs 11 cm Stärke und wurden dann nach Fig. 146 bis auf die unteren Trägerflanfche hinabgeführt, welche unten fichtbar blieben. Die Kappen hatten zum Theile unmittelbar nach der Herftellung eine Kälte von 6 Grad R. auszuhalten, erwiefen fich aber als dadurch nicht befchädigt und trugen, 14 Tage alt, 2850 kg auf 1 qm unter ziemlich fchweren Hackenfchlägen, ohne eine Veränderung zu zeigen; dagegen brach eine verfuchsweife hergeftellte ebene Betonplatte von gleicher Stärke fchon unter geringer Laft.

Fig. 146.



Bezüglich der gelegentlich diefer Ausführung verhandelten Frage, ob fo flache Kappen in Folge Treibens des Betons Schub äufsern oder als Platten wirken, giebt *Schumann* in Amöneburg an, dafs unter Waffer zwar 1/4 Jahr lang ftarkes Treiben ftattfindet, welches erft nach 2 Jahren aufhört; auf 1 m Länge find Ausdehnungen beobachtet: nach 1/4 Jahr um 0,2 mm, nach 1/2 Jahr um 0,22 mm, nach 1 Jahr um 0,27 mm, nach 2 Jahren um 0,3 mm. Natürliche Baufteine dehnen fich oft nach der Verwendung mehr aus. Diefe Mafse genügen nicht, um das Auftreten erheblicher Schübe abzuleiten. Nun ift es aber fogar wahrfcheinlich, dafs fich die trocken erhärtenden Kappen zufammenziehen, worauf die Schwindriffe und der Umftand hindeuten, dafs Probewürfel aus 1 Theil Cement und 3 Theilen Sand bei 10 cm Seitenlänge 1 Woche unter Waffer und 3 Wochen trocken erhärtet 0,042 mm Seitenverkürzung ergaben.

Es wäre aber gefährlich, auf Grund diefer Beobachtungen anzunehmen, dafs die flachen Kappen überhaupt nicht fchieben, und dann die Träger nur auf die lothrechten Laften zu berechnen; denn die Plattenkörper brechen jedenfalls leichter, als die Kappen, und wenn nun eine als Kappe berechnete Fachfüllung zunächft auch wirklich als Platte wirkte, fo würde fie dadurch Spannungen erleiden, die über die berechneten erheblich hinausgehen. Sollten in Folge davon feine Riffe entftehen, fo ift die Plattenwirkung jedenfalls aufgehoben, und die Gewölbewirkung beginnt nun unter ganz geringem Verkanten der Theile. Es ift daher nöthig, den Kappenfchub gleich in die Trägerberechnung einzuführen.

δ) Bei Erbauung des Krankenhaufes zu Karlsruhe[109]) wurden drei Arten von Fachfüllungen in Betracht gezogen: ebene Betonplatten, Kappen aus Beton und Kappen aus Schlacken-Beton. Die erfte Anordnung wurde aufgegeben, weil die Platten an fich dick werden und viel Füllung verlangen, alfo im Ganzen fchwer werden. Bei den Kappen erzielt man zwar etwas vergröfserte Tragfähigkeit, wenn man diefelben mit den Zwickeln als einen Körper bildet; aber diefe Anordnung wird fchwerer und theuerer, als möglichft dünne Tragbogen mit magerer leichter Ueberfüllung. Bezüglich diefer Anordnung wurde dann für die 1,3 bis 1,5 m weiten Felder ein Vergleich eines Tragbogens mit 1/9 Pfeilverhältnifs aus 1 Theil Cement, 2 Theilen Sand und 4 Theilen Kies nebft Ueberfüllung aus 8 Theilen Schlacken mit 1 Theil Weifskalk mit einem Bogen nebft Zwickeln aus 1 Theil Cement und 6 Theilen Schlacken mit etwas Sand angeftellt. Der Schlacken-Beton befafs die 0,7-fache Zugfeftigkeit des Kies-Betons; machte man letzteren alfo 10 cm ftark, fo muffte der Schlacken-Beton 14 cm dick fein. Die Decke aus Schlacken-Beton würde dann auf 1 qm 80 kg leichter, als die aus Kies-Beton, aber nicht billiger. Da man aufserdem den Gehalt der Schlacken an Schwefelverbindungen fürchtete, fo erfchienen die mit Schlacken-Beton zu erzielenden Vortheile nicht durchfchlagend, und man wählte den Kies-Betonbogen, theerte aber die oberen Trägertheile, um fie einer etwaigen ungünftigen Einwirkung des Schwefels in den Schlacken der Ueberfüllung zu entziehen. Nach oben wurden die Bogenkämpfer bis unter den oberen Tägerflanfch hinaufgezogen, um eine Art von Einfpannung zu erzielen.

Es entftand fo die in Fig. 147 dargeftellte Anordnung, auf deren Ueberfüllung ein Parquet-Fufsboden in Afphalt verlegt und welche von unten her abgeputzt wurde. Die Trägerflanfche blieben auch hier unten fichtbar. Die Träger erleiden hier bei 660 kg für 1 qm Gefammtlaft der Decke für 1 qcm 1000 kg

[108]) Siehe: Deutfche Bauz. 1889, S. 491.

[109]) Siehe: Deutfche Bauz. 1890, S. 7.

Fig. 147.

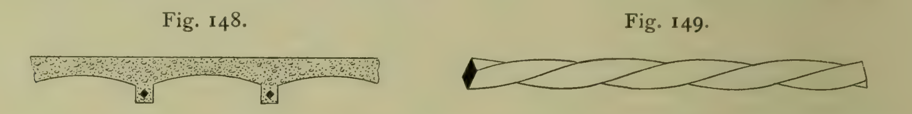


Spannung. Die Koften beliefen fich auf 15,0 Mark für 1 fertiges Quadr.-Meter, während der Anfchlag für Holzbalken mit Gypsdielen, Füllung, Parquet auf Blindboden und Deckenputz etwa nach Fig. 71 (S. 46), unter Erfatz der dort gezeichneten Spreutafeln durch Gypsdielen, 13,4 Mark für 1 qm und wegen der geringeren Laft etwas weniger Mauerwerk ergab. Der Unterfchied erfchien nicht grofs genug, um die gewählte, jedenfalls ficherere Anordnung aufzugeben.

ε) Günftige Erfahrungen mit Schlacken-Beton giebt die Firma *Odorico* zu Frankfurt a. M. an[110]). Kappen von 2 m Weite aus 1 Theil Cement, 3 Theilen Sand und 7 Theilen Schlacken von Tauben- bis Hühnereigröfse ertrugen bei 12 cm Scheitelftärke und 15 cm Kämpferftärke im Alter von 4 Wochen nach einander für 1 qm 1000 kg voller, 2600 kg einfeitiger und 2880 kg Belaftung der mittleren Hälfte, ohne dafs fich irgend welche Veränderungen gezeigt hätten. Die Kämpfer der Kappen waren mit Hülfe paarweifer Anordnung der Balken (fiehe Art. 61 [S. 65], fo wie Fig. 108 [S. 65], 109 [S. 66]) kräftig unterftützt.

ζ) Eine eigenartige, hierher gehörende nordamerikanifche Conftruction[111]), welche dem Grundgedanken nach Aehnlichkeit mit den Platten von *Rabitz* und *Monier* befitzt, zeigt Fig. 148. Der

Fig. 148. Fig. 149.



einzudeckende Raum wird mit einer Schaar von gedrehten Quadrateifen (Fig. 149) geringer Stärke überdeckt, welche dann in untere Anfätze einer zwifchen den Stäben etwas gewölbten Betonplatte eingeftampft werden. Das Drehen hat den Zweck, die Haftfeftigkeit des Eifens im Beton zu erhöhen. Die Schaar der Quadrateifen bildet gewiffermafsen die Zuggurtung des plattenförmigen Deckenträgers, deffen Druckgurtung der obere volle Betonkörper darftellt. Eiferne Träger find hier alfo ganz vermieden. Unter ftofsweife wirkenden Laften und für grofse Spannweiten dürfte die Anordnung bei der nie ganz zu überwindenden Unzuverläffigkeit des Betons unter Zug- und Scherbeanfpruchung ihre Bedenken haben.

71. Unterflächen.

Will man bei gewölbter Fachfüllung unten ebenen Abfchlufs haben, fo kann man *Rabitz*- oder *Monier*-Putz mit Eifenbügeln unter die Trägerflanfche hängen oder in den Beton auf den Trägerflanfchen Holzklötze zum Befeftigen der Verfchalung für eine gerohrte und geputzte Decke einfetzen. Es laffen fich jedoch auch die gewölbten Fachfüllungen ganz gefällig ausftatten, wie dies z. B. im Dienftgebäude der Provinzial-Steuerdirection zu Berlin, Alt-Moabit, mittels untergelegter gekrümmter Stuckplatten mit erhabenen, gegoffenen Verzierungen gefchehen ift.

2) Gerade Betondecken.

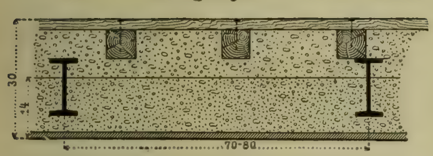
72. Betonplatte.

Bei den Füllungen gerader Betondecken ruht ein im Querfchnitte rechteckiger Betonkörper auf dem unteren Balkenflanfch, wie in Fig. 150 bis 153, überträgt daher keinerlei Schub auf die Träger, mufs aber bei plattenartiger Wirkung bezüglich der Laftübertragung gröfsere Stärke erhalten, weil der Widerftand der Betonplatten gegen vorwiegende Biegung weniger zuverläffig ift, als gegen vorwiegenden Druck (vergl. Art. 70, S. 79, unter γ). Hierdurch werden die Decken beträchtlich fchwerer und der Vortheil der geringeren Beanfpruchung der Träger geht zum Theile wieder verloren. Füllt man die Trägerhöhe mit einer Betonplatte aus, fo wird die Decke bei der guten Schallübertragung durch eine dichte Platte und dem Fehlen der Hohlräume meift nicht fo fchalldicht werden, wie die fchwächere, in den Zwickeln anderweitig überdeckte Betonkappe.

110) In: Deutfche Bauz. 1890, S. 46.

111) Siehe: *Nouv. annales de la conftr.* 1887, S. 29.

Fig. 150.



73.
Gewöhnliche Anordnungen.

Ein Beiſpiel einer ſtarken ebenen Decke, welche der gewölbten Anordnung in Fig. 135 (S. 76) entſpricht, zeigt Fig. 150[112]).

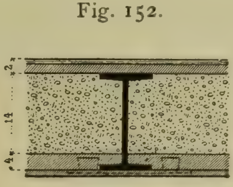
Die Träger ſind hier auch unten vom Beton umhüllt, daher vor dem Feuer geſichert und bei der Deckenausbildung nicht hinderlich. Die eigentliche Betonplatte trägt noch eine etwa 11 cm ſtarke Lage von Schlacken-Beton, welche die Schaldichtigkeit erhöht und die Lagerhölzer aufnimmt. Die Unterfläche konnte hier auf dem Beton geputzt werden.

Fig. 151 u. 152 zeigen Decken, wie ſie von *Heuſsner*[113]) in Wohngebäuden in Hannover ausgeführt ſind.

Die ſtärkeren Decken der unteren Geſchoſſe wurden nach Fig. 151 ausgeführt. Auf der eigentlichen Betonplatte wurden die Lagerhölzer mittels untergelegter Keile genau ausgerichtet und dann mit Schlacken-Beton ausgeſtampft. Die Träger-Unterflanſche ſind bündig eingeputzt.

Fig. 151.

Fig. 152.



Für die Decken, welche nur Schlafräume tragen, iſt die Betonplatte erheblich ſchwächer, die Schlacken-Betonlage ſtärker, die ganze Decke alſo leichter gemacht. Um die Decke unten von den Bewegungen der Träger unabhängig zu machen, ſind neben den Kanten des Unterflanſches ſchwalbenſchwanzförmige Klötzchen eingeſetzt, auf die ein Streifen Dachpappe genagelt wurde und welche zugleich zur Befeſtigung einer Berohrung unter der Pappe dienten.

Die ebenen Schlacken-Betonplatten aus den Werkſtättengebäuden des Hauptbahnhofes zu Frankfurt a. M.[114]), ausgeführt von *Odorico* in Frankfurt a. M., ſind im Zuſtande der Entſtehung durch Fig. 153 dargeſtellt.

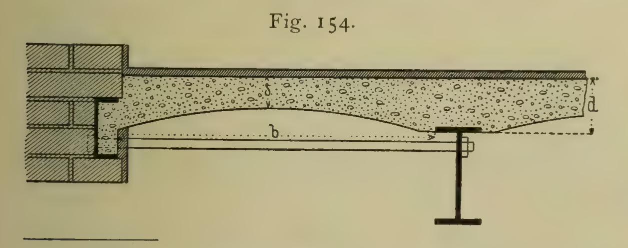
Fig. 153.

Der Beton beſteht aus 7 Theilen Gasſchlacke von Sandkorn- bis 4 cm Gröſse und 1 Theil Cement. Das Mengen erfolgte trocken; die Maſſe wurde dann naſs durchgearbeitet und auf der in Fig. 153 gezeichneten Holzſchalung nur 8 cm ſtark zwiſchen die Träger geſtampft. Die Ausrüſtung erfolgte nach 3 bis 4 Tagen, und bei der gleich vorgenommenen Belaſtungsprobe ergaben 2100 kg auf 1 qm noch keine Formänderung. Auf den Platten liegen in Wohnräumen Lagerbohlen mit Bretterfuſsboden, ſonſt Cement-Eſtrich oder Terrazzo.

74.
Beſondere Anordnungen.

Um zu verhüten, daſs ſich die Kanten der Träger-Obergurtungen in einem nicht mit Holz bedeckten Fuſsboden durch Riſſe bemerkbar machen, hat man die Betonplatte, wie in Fig. 154 u. 155, oben über die Träger weg gelegt. Trotz der unten gekrümmten Geſtalt wirkt der Beton in Fig. 154 in der Regel plattenartig, da weſentliche Schübe auf die Träger nicht übertragen werden können. Um jedoch etwa entſtehende Schübe nicht auf die Wand zu bringen, iſt die in Art. 61 (S. 66) erklärte Verankerung des vorletzten mit dem Wandträger vorgenommen.

Fig. 154.



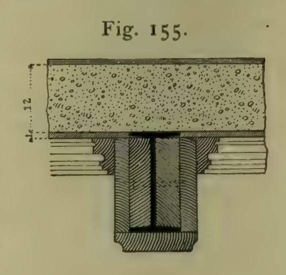
112) Siehe: Deutſche Bauz. 1886, S. 3.

113) Siehe: Deutſche Bauz. 1887, S. 608. — Wochbl. f. Baukde. 1887, S. 449.

114) Siehe: Deutſche Bauz. 1889, S. 572.

Bei der Conſtruction in Fig. 155 (von *Heuſsner* in Hannover ausgeführt) ſind die Träger zur Ausbildung einer Decke mit vertieften Balkenfeldern mittels Holzverſchalung benutzt. Die beiden Decken in Fig. 154 u. 155 klingen unter dem oben ſtattfindenden Verkehre. Fig. 155 iſt unter Schlafräumen angebracht und daher mit Linoleum abgedeckt, wodurch der Schall gedämpft wird. Die Anordnung in Fig. 154 eignet ſich beſonders für die Herſtellung im Freien liegender Decken, z. B. Balcon-Decken, da die Träger ſelbſt nach dem Entſtehen kleiner Riſſe gut gegen Näſſe geſchützt ſind. Sind die Träger oben bündig mit dem Beton, ſo ſind Abtrennungen des Betons von den Trägern unvermeidlich, in welche das Waſſer eindringt; alsdann entſteht die Gefahr, daſs die Träger roſten.

Fig. 155.



In Fig. 156 iſt eine Deckenanordnung mit Betonplatte dargeſtellt, welche allen Anforderungen genügen dürfte. Die unteren Trägerflanſche tragen eine dünne Betonplatte, deren Dicke genau der verlangten Tragfähigkeit entſpricht und welche

Fig. 156.

α β

Schnitt αβ.

1/20 n. Gr.

die unteren Trägertheile ganz gegen Feuer ſichern. Der Deckenputz iſt unmittelbar unter den Beton gebracht. Um den Schall zu dämpfen, iſt auf den Beton eine Lage möglichſt unelaſtiſcher Füllung gebracht, welche nach oben von einer dünnen Lage Schlacken-Beton bedeckt iſt. Letztere dient zur Aufnahme der Nägel und der Jutelage für einen nach Patent *Ludolff* anzubringenden Parquet- oder Stabfuſsboden und zugleich zur ſicheren Einhüllung der Eiſenbalken von oben, um dieſe auch hier

gegen Feuer zu fichern und zu verhindern, dafs ein Ablöfen der Trägerkanten die Fufsbodenanordnung verletzt. Die zwifchen zwei Betonlagen vollkommen eingefchloffene Füllung kann in diefer Anordnung, felbft bei mangelhafter Befchaffenheit, keine Uebelftände hervorrufen.

Der Unterzug diefer Decke hat zugleich einen etwas vergröfserten Körper und ziemlich wirkfamen Feuerfchutz durch Einhüllen in einen Kaften aus *Rabitz*- oder *Monier*-Putz erhalten. Zu diefem Zwecke find ftarke Tragdrähte unter den Balken der Decke befeftigt, an denen zwei weitere in den unteren Kaftenecken durch lothrechte Drahtnetze aufgehängt find; auch zwifchen diefe ift ein Drahtnetz eingefpannt, fo dafs nun ein vollftändiger Kaften, in den unteren Ecken mit Rundftab verziert, eingeputzt werden kann. Die unteren Eckdrähte find mittels Flacheifenklammern auch gegen die untere Gurtung des Unterzuges abgefteift. Die Breite des Kaftens ift fo bemeffen, dafs fie das runde Zwifchenfatzftück der Stütze zwifchen den Wandungen aufnehmen kann, das fomit ganz verfchwindet. Die Luftfchichten zwifchen den Kaftenwänden und dem Unterzuge fichern letzteren auch gegen bedeutende Hitzegrade. Die Anordnung verftöfst nur gegen die von *Stolz* (vergl. Art. 56, S. 58) aufgeftellte Regel, dafs unter den Decken keine vorfpringenden Theile liegen follen. Da aber felbft bedeutende Hitzegrade hier erft nach fehr langer Dauer eine fchädliche Wirkung auf die Träger ausüben können, fo ift darin kein Mangel zu erkennen.

Trotz ihrer grofsen Dichtigkeit und Stärke nimmt diefe Zwifchendecke doch nur eine geringe Höhe ein.

75. Bemeffung der Eifenträger.

Wegen der ebenen Schalung find die geraden Betondecken etwas einfacher herzuftellen und werden daher häufig den gewölbten vorgezogen; die oben angeführten Vortheile laffen jedoch die letzteren den erfteren im Allgemeinen überlegen erfcheinen.

Bei Verfuchen, welche nicht bis zum Bruche getrieben wurden, hat man nun auch bei mit Wölbung hergeftellten Betondecken wiederholt keinen Schub auf die Träger bemerkt. Es ift jedoch nicht zu empfehlen, bei der Bemeffung der Träger von diefen Schüben abzufehen, da fie beim Entftehen von felten ganz zu vermeidenden Riffen fich entwickeln müffen, andererfeits aber in den meiften Fällen die Kappen fo angeordnet werden können, dafs die Schübe fich an jedem Träger für alle Belaftungen aufheben, wie in Kap. 6 nachgewiefen werden wird.

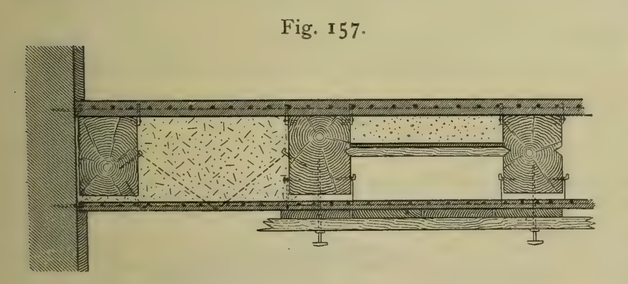
d) Rabitz- und Monier-Decken.

76. *Rabitz*-Decken.

In neuefter Zeit verbreitet fich die Verwendung von Decken, welche nach den Patenten *Rabitz* und *Monier* aus Eifenträgern und Mörtelplatten mit Drahteinlage in verfchiedener Weife zufammengefetzt werden (vergl. Art. 33 [S. 44], 45 [S. 52] u. 46 [S. 53]).

Derartige Anordnungen können zunächft nach *Rabitz* wie in Fig. 157 ausgeführt werden, wenn man dort die Holzbalken durch eiferne Träger erfetzt. Die Füllung erfolgt dabei zwifchen den beiden Mörtelplatten gleichfalls mittels Torfgrufs oder Kiefelguhr in dünner Lage oder in voller Stärke; die Drähte werden mittels Blechbügeln an den Trägern befeftigt. Die Hohlräume zwifchen den Platten können in Fällen, wo es auf das Warmhalten auch der Fufsböden ankommt, zum Einlegen von Heizrohren benutzt werden.

Fig. 157.



Bei der Ausführung derartiger Decken werden zuerft die ftärkeren Drähte quer

über die Balken geſpannt, bei 8 bis 12 mm Stärke in 20 bis 25 cm Theilung; alsdann werden die 5 bis 6 mm ſtarken Längsdrähte in 10 bis 15 cm Theilung eingebunden und das Ganze mit Laufbrettern eingedeckt. Nun wird der Mörtel aus Gyps oder Cement und Sand oder aus beiden gemiſcht auf einer verſchieblich zwiſchen die Träger eingeſetzten Rüſtung in Bahnen quer zu den Balken etwa 1,0 m breit eingeſtampft, wobei einzelne Löcher zum ſpäteren Einbringen der Füllung ausgeſpart werden. Unter Verſchieben der Rüſtung reiht man ſo Bahn an Bahn. Nach Schluſs der oberen Platte ſpannt man die Drähte unten, drückt den Putz in das Gitter und ſtreicht ihn glatt ab. Schlieſslich erfolgt das Einbringen der Füllung durch die ausgeſparten, ſpäter zu verputzenden Löcher.

Will man die untere Platte mit der Füllung erſt einbringen, ſo ſpanne man unter das obere Gitter nach Fertigſtellung der übrigen Arbeiten einen billigen Zeugſtoff, damit der Mörtel für die obere Platte beim Einbringen ohne Rüſtung nicht in die Füllung fällt.

Man kann jedoch in dieſem Falle nach Herſtellung der unteren Platte auch die obere in Bahnen auf beweglicher Rüſtung herſtellen, wenn man nach Herſtellung einer Querbahn das herausgezogene Gerüſt ſogleich durch eine entſprechende Bahn der Füllung erſetzt.

Uebrigens iſt die Füllung nicht unbedingt erforderlich, da die dichten Platten die Wärme wenig durchlaſſen und der Schall durch den Hohlraum weſentlich gemildert, wenn auch nicht aufgehoben wird.

Eine ganz ähnliche Decke nach *Monier* zeigt Fig. 158 in ihrem rechten Theile. Hier ſind die fertigen Platten, 4 bis 7 cm ſtark für den Fuſsboden auf die Träger, für den Deckenputz 1,5 cm ſtark mit aufgekrümmten Rändern zwiſchen die unteren Gurtungen gebracht. Die Platten haben die Drahtgitter im unteren Viertel, bezw. in der Mitte und beſtehen aus fettem Cementmörtel (1 : 1 bis 1 : 3). Die oberen Platten erhalten an den Rändern Falzung und werden mit Cement verſtrichen; aus den unteren läſſt man die Drahtenden vorragen, welche nach Verlegen der Platten unter den unteren Gurtungen verflochten werden, um hier den am Träger nicht haftenden Deckenputz zu halten. Der Putz wird ohne Weiteres unter die untere Platte gebracht.

Fig. 158.

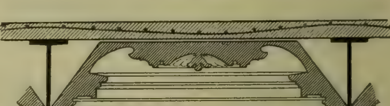
Werden die Platten ohne Fuge über mehrere Trägerfache geſtreckt, wie in Fig. 159, ſo kann man zweckmäſsig den Zugſpannungen in dem entſtehenden continuirlichen Träger durch eine geſchlängelte Geſtalt der Drahteinlagen folgen, indem man ſie über den Trägern hoch, mitten zwiſchen den Trägern tief legt.

Das Einbringen von Füllung iſt bei der Verwendung fertiger Platten einfacher, als bei Herſtellung derſelben an Ort und Stelle.

Die Anordnung einer nach *Monier* ganz in Cement, bezw. Gyps ausgeführten, reich ausgeſtatteten Caſſetten-Decke zeigt Fig. 159.

Bei den zu Fig. 157, 158 rechts u. 159 beſchriebenen Anordnungen iſt die Herſtellung von Bretterfuſsböden nicht wohl möglich; Dichtigkeit gegen Schall iſt nur durch Einbringen von Füllung herzuſtellen, welche, abgeſehen von der Ausführung

Fig. 159.



in Torfgruſs, das Gewicht der Decke erheblich vergröſsert; dabei wird das Zittern und Dröhnen der oberen Platte unter geringen Verkehrsſtöſsen doch nicht vermieden.

77. *Monier*-Bogenplatten.

Voll aufgelagerten (auch Holz-) Fuſsboden kann man verwenden, wenn man gekrümmte *Monier*-Platten bogenartig zwiſchen die Träger ſpannt (Fig. 158 links). Letztere müſſen dann für die Aufnahme der Seitenſchübe verſtärkt werden, werden hierin aber durch einen etwa vorhandenen geraden Deckenputz weſentlich unterſtützt. Da dieſe Bogen bei einſeitiger Belaſtung in wechſelndem Sinne gebogen werden, ſo iſt es zweckmäſsig, den Platten, wenn ſie ſtark genug dazu ſind, zwei Drahteinlagen im oberen und unteren Viertel zu geben.

Die Bogenplatten, welche beim Einbringen von Betonleiſten auf die Unterflanſche nicht wie in Fig. 158 auf dieſe geſetzt zu werden brauchen, daher das Trägerfach gröſstentheils hohl laſſen, werden mit magerem, leichtem (z. B. Schlacken-) Beton, welcher bei Bretterfuſsböden die Lagerhölzer nach Fig. 115 (S. 68), 138 (S. 76), 139 (S. 77) u. 140 (S. 77) oder Fig. 146 (S. 79) aufnimmt, nach Bedarf hinterfüllt.

Belaſtungsverſuche mit *Monier*-Platten lieferten die nachfolgenden Ergebniſſe.

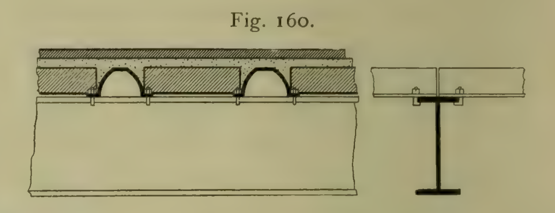
Nr.	der Platten: Länge	Spannweite	Dicke	Pfeil	Drahteinlage: Art	Drähte in Richtung der Spannweite	Drähte in Richtung der Länge	Belaſtung: Art	Gröſse	Erfolg
	Centim.								Kilogr. auf 1 qm	
1	60	150	5	0	gebundenes Drahtgitter in der Mitte	2 von 10 mm 1 » 8 » 2 » 6 » 4 » 5 »	5 mm dick in 6 cm Abſtand	voll	1813	45 mm Durchbiegung ohne Bruch.
2	60	100	5	0	gebundenes Drahtgitter in der Mitte	3 von 8 mm 2 » 7 » 2 » 6 » 2 » 5 »	5 mm dick in 6 cm Abſtand	voll	3000	6,5 mm Durchbiegung; Entſtehen von ſichtbaren Haarriſſen.
3	60	450	5	40	gebundenes Drahtgitter in der Mitte	3 von 14 mm 6 » 8 »	6 mm dick in 7 cm Abſtand	einſeitig bis Scheitel	2550	12 mm Hebung der unbelaſteten, 13 mm Senkung der belaſteten Seite, ohne Bruch.
								»	2608	Bruch im Mörtel.
4	60	450	5	40	2 Drahtgeflechte in den Dritteln	5 mm dick in 6 cm Abſtand	5 mm dick in 6 cm Abſtand	einſeitig bis Scheitel	2455	15 mm Hebung der unbelaſteten, 13 mm Senkung der belaſteten Seite, ohne Bruch.
								»	2970	Bruch im Mörtel.
5	60	450	1 Cement 1 Sand 5	40	ohne Einlage	—	—	einſeitig bis Scheitel	1060	8 mm Hebung der unbelaſteten, 11 mm Senkung der belaſteten Seite, Bruch.

e) Sonftige Anordnungen.

78.
Decken
mit
Belageifen.

Eine im Brückenbau häufiger, als im Hochbau verwendete Deckenanordnung ift die in Fig. 160 dargeftellte aus Belageifen [115]) und Backftein-Flach- oder -Rollfchichten [116]). Die auf die Träger gelegten Belageifen werden, um jede Lochung der erfteren zu vermeiden, mittels kleiner Hakenfchrauben in folchen Entfernungen von einander befeftigt, dafs die Zwifchenräume mit Backfteinen überdeckt werden können. Um die Ungleichförmigkeiten in der Laftvertheilung auf die Träger in Folge durchlaufender Continuität der Belageifen zu vermeiden, mache man die Länge der letzteren gleich der Trägertheilung. Für gewöhnliche Verhältniffe genügt die Ueberdeckung durch die Länge flach gelegter Ziegel oder beffer Hohlfteine; für fchwerere Laften mufs man die Ziegel hochkantig ftellen, und nur unter aufsergewöhnlichen Verhältniffen find die Belageifen auf Steinbreite zufammenzurücken, wobei dann die Deckung wieder mittels Flachfchicht oder Rollfchicht aus Zweiquartiren erfolgen kann. Diefe Decke erhält zunächft noch eine Ueberfüllung aus Sand oder, zur Verhinderung des Durchriefelns, beffer aus ganz magerem Mörtel, bezw. Schlacken-Beton, welche dann jede Art von Fufsboden aufnehmen kann.

Fig. 160.



Die Ueberdeckung der Zwifchenräume kann ftatt mit Backfteinen zweckmäfsiger mittels Beton erfolgen.

Eine ebene, geputzte Decke ift bei diefer Conftruction wegen der Höhlungen der Belageifen nur mittels befonderer Hilfsmittel — etwa nach *Rabitz* oder *Monier* — herzuftellen. Dagegen kann man die Träger bei nicht zu bedeutender Höhe derfelben in der Ueberdeckung verfchwinden laffen, wenn man die Belageifen auf den unteren Trägerflanfch legt.

Für beffer ausgeftattete Räume ift diefe Anordnung wegen der fchwierigen, an fich unfchönen Deckenausbildung nicht zu empfehlen.

79.
Steinerne
Caffetten-
Decken.

Als letzte Decke aus Stein und Eifen, deren Verwendung fich jedoch auf befondere Fälle befchränkt, ift die Decke aus Steinplatten auf Eifenträgern, fteinerne Caffetten-Decke, zu nennen. Diefe Anordnung wird fchon dadurch fchwierig, dafs nur wenige Gefteinsarten die Herftellung folcher auf Biegung zu beanfpruchender Platten erlauben. Aber felbft geeignetem Material mufs eine bedeutende Stärke gegeben werden, wenn man ähnliche Tragfähigkeit, wie die von Wölbungen oder auch Mörtelplatten erzielen will. Die Decken werden daher theuer und fchwer und geben beim Vorhandenfein verborgener Riffe felbft im beften Geftein keine grofse Sicherheit. Betrachtet man die Steinplatten nur als Fachfüllung und überträgt die Laften durch Lagerbalken auf die Träger, fo werden die Koften noch ungünftiger.

Ein Beifpiel folcher Deckenbildung zeigt die fteinerne Caffetten-Decke der Eingangshalle im *Lycée Janfon de Sailly* zu Paris [117]).

Hier find zwifchen die 26 cm hohen Träger zur Bildung von 107 cm weiten quadratifchen Caffettenfeldern zunächft eiferne Querträger von 13 cm Höhe gelegt. Jedes Feld ift dann zunächft durch in die Trägerhöhlungen eingepaffte Randfteine eingefafft, welche innen die Randprofilirung der Caffette und oben

[115]) Siehe: Theil I, Band 1, erfte Hälfte (S. 196) diefes »Handbuches«.

[116]) Eine derartige Decke mit Holzüberdeckung in Afphalt fiehe in: Deutfche Bauz. 1883, S. 397.

[117]) Siehe: *Le génie civil* 1885, S. 19.

einen Falz zur Aufnahme der 10 cm ftarken fteinernen Deckplatte tragen; oben wird die Caffette durch diefe Platte gefchloffen. Die unteren Gurtungen der Träger find in die profilirten Randfteine bündig eingelaffen.

Man hat jedoch hier die Steinplatten nicht zur Aufnahme der Fufsbodenlaft benutzt, fondern Lagerbalken über die Träger geftreckt, welche alfo die Steinplatten völlig entlaften.

In einigen Fällen, z. B. über den feitlichen Hallen des *Trocadéro*-Palaftes zu Paris, hat man in die durch die eifernen Träger gebildeten Caffettenfelder eigens zu diefem Zwecke angefertigte Terracotta-Platten gelegt.

Literatur

über »Balkendecken in Stein, bezw. Mörtel und Eifen«.

HYATT, TH. *An account of fome experiments with Portland cement concrete, combined with iron etc.* London 1878.

Weiterer Beitrag zur Frage der Verwendung des Betons im Hochbau. Deutfche Bauz. 1879, S. 393.

KORTÜM. Maffive horizontale Deckenconftruction zwifchen Eifenträgern. Centralbl. d. Bauverw. 1881, S. 328.

MURAT. *Planchers à plafonds monolithes unis, moulurés et fculptés. Moniteur des arch.* 1881, S. 73.

Decken aus hohlen Gewölbefteinen, Neuwieder Tufffteinen und aus Gyps. Baugwks.-Ztg. 1882, S. 271.

Maffive Deckenconftruction, Syftem Murat. Centralbl. d. Bauverw. 1882, S. 102.

SCHNEIDER, G. Apparat zum Einrüften von Decken aus Beton. Deutfche Bauz. 1882, S. 549.

KOCH, A. Hohle Gewölbefteine (Hourdis), Syftem Laporte, von gebrannter Erde. Eifenb., Bd. 16, S. 74.

Ein Beitrag zur Frage der Verwendung des Eifens im Hochbau. Deutfche Bauz. 1883, S. 166.

Hourdis pour planchers. Syftème Laporte. Nouv. annales de la conft. 1883, S. 105.

Die Wölbungen zwifchen Traverfen. Wochfch. d. öft. Ing.- u. Arch.-Ver. 1883, S. 67.

Fire-proof building materials. American architect, Bd. 15, Nr. 20, Suppl., S. 1.

WAGNER, W. Herftellung ebener Cementbetondecken. Centralbl. d. Bauverw. 1884, S. 405.

Hollow brick for flat arches. American architect, Bd. 18, Nr. 510, Suppl., S. 1.

Steindecken im London-Pavilion. Centralbl. d. Bauverw. 1886, S. 32.

GOLDSCHMIDT, R. Cementgufs-Decken. Centralbl. d. Bauverw. 1886, S. 43.

KLETTE, H. Schwamm- und fäulnifsfichere Fufsboden- und Deckenconftruction. Civiling. 1886, S. 283.

WAGNER, W. Zement- und Schlacken-Betondecken. Eine hygienifche Zeitfrage. Deutfche Bauz. 1886, S. 3.

Schwamm- und fäulnifsfichere Fufsboden- und Zwifchendecken-Konftruktion. Deutfche Bauz. 1886, S. 129.

Füllungen für Decken-Konftruktionen nach dem Syftem »Laporte«. Deutfche Bauz. 1886, S. 202.

Cement- und Schlackenbeton-Decken. Schweiz. Bauz., Bd. 7, S. 125.

Herftellung feuerficherer Decken aus Cementbeton und Gyps. Centralbl. d. Bauverw. 1888, S. 274.

DALY, M. *Planchers en fer et en béton. La femaine des conft.*, Jahrg. 13, S. 350 u. ff.

---

5. Kapitel.

Balkendecken in Eifen.

80. Decken mit Wellblech.

Der für ganz in Eifen conftruirte Balkendecken am meiften verwendete Bauftoff ift das Wellblech, welches je nach der Form der Wellen in zwei Arten: flaches Wellblech und Trägerwellblech gefondert wird [118]). Die Wellen der erften Art beftehen aus flachen, tangentiell an einander fchliefsenden Kreisbogen, die der zweiten beftehen aus Halbkreifen, welche unmittelbar zufammenfchliefsen oder durch kurze

[118]) Siehe auch Theil I, Band 1, erfte Hälfte (Art. 194, S. 200) und Theil III, Band 2, Heft 1 (Art. 240 u. 241, S. 304, fo wie Art. 251, S. 314) diefes »Handbuches«.

Tangentenftücke verbunden find. Die Abmeffungen und Widerftandsmomente der Wellbleche verfchiedener Fabriken werden im nächften Kapitel mitgetheilt werden [119]).

Die tragenden Balken find gewöhnlich gewalzte I-Eifen, auf deren untere Flanfche die Bleche gelagert werden. Letztere kommen gerade oder gebogen (bombirt) zur Verwendung; die Biegung follen fie bei der Herftellung, nicht auf der Bauftelle erhalten, obwohl dadurch der Preis etwas erhöht wird. Ueberall, wo irgend welche Feuchtigkeit auf die Bleche wirken kann, follen verzinkte Bleche verwendet werden. In gefchützter Lage genügt es, wenn die Bleche nach der Abnahme in der Fabrik gereinigt und mit Bleimennige grundirt, nach dem Verlegen einmal mit Bleimennige und zweimal mit Oelfarbe nachgeftrichen werden.

Bombirte Wellbleche, als Bogen verwendet, geftatten in der Regel, wegen der hier vorwiegenden Beanfpruchung des Bleches auf Druck, die Verwendung leichterer Bleche; dagegen find die Träger, da auf diefelben Seitenfchübe ausgeübt werden, ftärker zu wählen.

Zur Ueberfüllung verwendet man mageren Mörtel, noch beffer Beton. Für hölzerne Fufsböden werden die Lagerhölzer in letzteren eingeftampft; Eftriche und Plattenbeläge können darauf ohne Weiteres verlegt werden. Nach unten kann die Eifen-Conftruction fichtbar bleiben, oder man kann an die Eifenträger eine Deckenfchalung anhängen, welche man erforderlichenfalls auch zu putzen in der Lage ift.

In fehr gefchickter Weife wurden im Mufeum für Völkerkunde zu Berlin derart conftruirte Decken zur Ausführung gebracht.

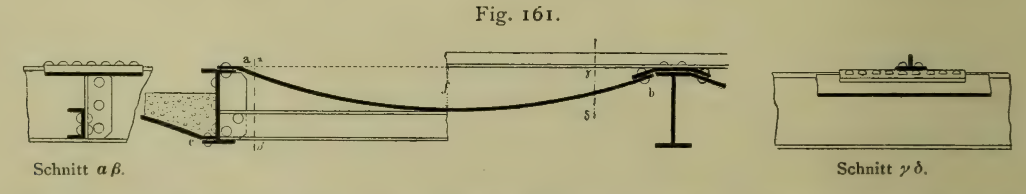
Die 15 m tiefen, durch fchmiedeeiferne Unterzüge auf gufseifernen Säulen in der Mitte unterftützten Decken der Ausftellungsfäle beftehen aus gewölbtem und fauber verzinktem, zwifchen gewalzten Trägern gefpanntem Wellblech, auf welches Beton aufgetragen ift; letzterer ift mit Mettlacher Thonfliefen belegt. Die verzinkten Bleche erhielten zum Schutz gegen Blindwerden, gleich nachdem fie aus dem Metallbad gekommen waren, einen Ueberzug, der aus einer Mifchung von Dammarlack und holländifchem Standöl beftand. Die unteren Flanfche der Walzträger find an den fichtbaren Unterflächen mit gepreßten Meffingfriefen gefchmückt; auch diefe wurden mit Firnifs überzogen, welcher fie vor dem Oxydiren fchützt und ihnen eine goldähnliche Färbung verleiht [120]).

Wellblech, insbefondere Trägerwellblech, wird zu Decken-Conftructionen auch noch in der Weife verwendet, dafs man die tragenden Walzbalken wegläfft und nur bei gröfseren Spannweiten einen Unterzug anordnet. Von folchen Deckenanordnungen wird unter C die Rede fein.

81. Decken mit Tonnenblechen.

Selten im Hochbau [121]), jedoch fehr häufig im Brückenbau, ift die Decke aus Tonnenblechen (Fig. 161) auf eifernen Trägern, für welche hier kurz die wichtigften Gefichtspunkte angegeben werden follen. Die Bleche werden bis zu 4 qm Gröfse bei

Fig. 161.



den verfchiedenften Längen- und Breitenverhältniffen und gewöhnlich 4 bis 10 mm Stärke mit $^1/_8$ bis $^1/_{12}$ Pfeil, und zwar meift nach unten gebogen, verwendet. Be-

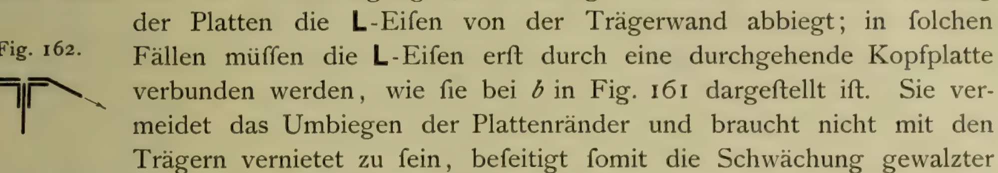
[119]) Siehe auch über die Profile Nr. I bis VI der »Actien-Gefellfchaft für Verzinkerei und Eifenconftruction, vorm. *Jacob Hilgers*« in Rheinbrohl: Theil III, Band 2, Heft 1 (Art. 241, S. 305) diefes »Handbuches«.

[120]) Siehe: Zeitfchr. f. Bauw. 1887, S. 48.

[121]) Siehe: Decke des Güterbahnhofes St. Pancras der Midland-Eifenbahn, London. Organ f. d. Fortfchr. d. Eifenbahnw. 1888, S. 92, 157.

ſonders wichtig iſt hier wieder die Lagerung auf den Trägern. Dieſe iſt meiſt mittels umgebogenen Randes der Tafel nach *a* in Fig. 161 ausgeführt, wobei aber das Umbiegen des Randes unbequem und die Lochung der Träger unvortheilhaft iſt; beſonders muſs man ſich vor Befeſtigungen, wie in Fig. 162 hüten, weil dabei der Zug der Platten die **L**-Eiſen von der Trägerwand abbiegt; in ſolchen Fällen müſſen die **L**-Eiſen erſt durch eine durchgehende Kopfplatte verbunden werden, wie ſie bei *b* in Fig. 161 dargeſtellt iſt. Sie vermeidet das Umbiegen der Plattenränder und braucht nicht mit den Trägern vernietet zu ſein, beſeitigt ſomit die Schwächung gewalzter Träger, wie ſie bei *a* in Fig. 161 eintrat. Die Stärke der Kopfplatte wähle man etwas gröſser, als die der Bleche. Beſondere Sorgfalt verlangt auch die Nietung der ſchwachen Bleche; ſie muſs zur Vermeidung zu groſser Lochlaibungspreſſungen in enger Theilung, mit Nieten von 10 bis 15 mm Durchmeſſer, erfolgen. Da die unbelaſtete Oeffnung hier nur einen ſehr geringen Gegenzug zur Entlaſtung der Träger vom Zuge der belaſteten liefert, ſo müſſen zahlreiche Steifen zwiſchen die Träger eingeſetzt werden. Am unmittelbarſten erfolgt die Aufhebung der Züge durch Aufnieten der Steifen auf die Kopfplatte mit unten verſenkten Nieten (*b* in Fig. 161); kann man dieſe jedoch der Fuſsbodenanordnung wegen nicht anbringen, ſo müſſen ſie (*a* in Fig. 161) unter die Bleche geſetzt werden, können auch, aus **T**-Eiſen gebildet, gekrümmt unter die Bleche genietet und dann zur Verlaſchung der Plattenſtöſse benutzt werden.

Fig. 162.



Werden die Bleche mit Beton überdeckt, ſo niete man kleine **L**-Eiſen mit aufrecht ſtehendem, in den Beton greifendem Schenkel auf den Plattenrand; die Druckfeſtigkeit der zwiſchen dieſen Winkelſchenkeln gefaſſten Betonplatte hebt den Zug der Tonnenbleche in jedem Balkenfache für jede Belaſtungsart unmittelbar auf, ſo daſs für die Träger bei allen möglichen Belaſtungen nur lothrechte Kräfte aufzunehmen bleiben.

Die Wölbung der Bleche nach oben zu legen (*c* in Fig. 161) iſt zwar für die Auflagerung auf die Träger günſtig, in welcher man ſo die Nietung ganz entbehren kann, wenn der Rand gut am Stege anliegt; da aber die leicht verbiegbaren Bleche in dieſer Lage namentlich der zum Scheitel unſymmetriſchen Belaſtung nur ſchlecht widerſtehen, ſo müſſen ſie jedenfalls durch Beton-Ueberbettung verſteift ſein. Dieſe ſteife Ueberbettung kann dann, wie bei den Wellblechbogen, zur Verſchwächung der Trägerverankerung ausgenutzt werden.

Zum Schutze gegen Roſten werden die Tonnenbleche meiſt verzinkt, mindeſtens gut angeſtrichen und auſserdem gewöhnlich mit einer dünnen Lage von weichem Aſphalt überzogen. Die Ueberdeckung erfolgt allgemein am beſten mit magerem Mörtel oder Beton, in, bezw. auf welchem dann jeder Fuſsbodenbelag befeſtigt werden kann. Deckenſchalung iſt nur mittels Anhängens an die Träger möglich.

Kann Feuchtigkeit in die Decken dringen, ſo muſs für Entwäſſerungslöcher in den Scheiteln hängender Platten geſorgt werden; ein Mangel der nach oben gewölbten Platten iſt das Zuſammenführen des Waſſers nach den Trägern.

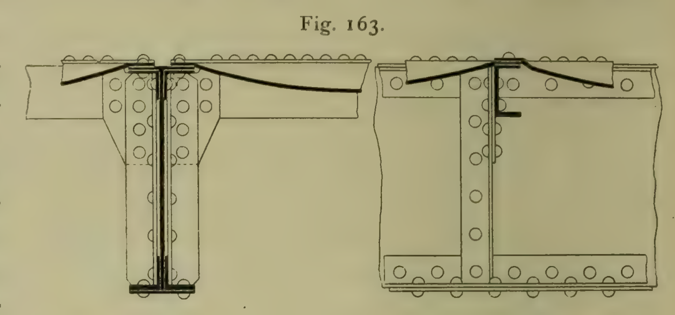
82.
Decken
mit
Buckelplatten.

Noch ſeltener ſind im Hochbau die Buckelplatten-Decken (Fig. 163) aus *Mallet*-ſchen Platten. Ihre Form iſt die eines nach der Mitte zu allmählig in eine Kugelkappe übergehenden Kloſtergewölbes. Die gebräuchlichen Einzelabmeſſungen werden in Kap. 6 mitgetheilt werden.

Die Buckelplatten werden ſtets mit wagrecht abgebogenem Rande verſehen und

müffen auf allen vier Seiten voll aufliegen und vernietet werden. Sie bedurfen daher eines Roftwerkes von Trägern, deffen Mafchen ihrer Grundform genau entfprechen. In Fig. 163 ift ein weit gefpannter Hauptträger dargeftellt, an welchen kleine Querträger aus [-Eifen anfchliefsen.

Fig. 163.



Durch diefe Roftanordnung erfolgt zugleich die Ausfteifung der Träger gegen die wagrechten Züge der Platten in wirkfamfter Weife. Diefe Platten widerftehen nach oben oder unten gewölbt etwa gleich gut; die nach oben gewölbt verlegten fchränken die Maffe der Ueberfüllung ein, haben aber in feuchter Lage wieder den Mangel, dafs fie das Waffer nach den Trägern führen. Die nach unten gewölbten erhalten im Scheitel je ein Entwäfferungsloch mit eingefchraubtem Röhrchen, an welchem auch etwa entftehendes Schwitzwaffer abtropft. Unter diefe Abzugsröhrchen ift ein Netz von Sammelrinnen mit Abfallrohren zu legen. Selbftverftändlich find diefe Entwäfferungsanlagen nur bei freier Lage der Decke oder fonftigem erheblichem Wafferandrange erforderlich.

Auch diefe Platten werden am beften verzinkt, wenigftens gut angeftrichen und zweckmäfsig oben mit Afphalt überzogen, damit die Randfugen gedeckt werden. Ueber Fufsboden- und Deckenanordnung gilt das von den Tonnenblechen Gefagte.

Diefe Art der Deckenanordnung kommt jedenfalls nur in den am fchwerften belafteten Gebäuden, etwa grofsen Lagerfpeichern, vor.

Literatur

über »Balkendecken in Eifen«.

Ueber die Conftruction eiferner Decken in Wohngebäuden. CRELLE's Journ. f. Bauk., Bd. 14, S. 73.

Planchers en fer. Syftème Kaulek. — Syftème Baudrit. — Syftème Jeanette. — Syftème Rofier. Revue gén. de l'arch. 1851, S. 74 u. Pl. 12, 13.

Planchers en fer fyftème Joly. Revue gén. de l'arch. 1851, S. 181.

Planchers de fer. Revue gén. de l'arch. 1853, S. 54, 338 u. Pl. 7—12, 29.

Die Verhandlungen über eiferne Balkendecken in den Verfammlungen des königl. Architekten-Vereins in London. Allg. Bauz. 1854, S. 141.

La queftion des planchers en fer difcutée en Angleterre. Revue gén. de l'arch. 1854, S. 86.

AUBERT, L. *Emploi du fer et de la fonte dans les conftructions. III. Difpofitions générales des planchers. Revue gén. de l'arch.* 1855, S. 97.

Beitrag zur Konftrukzion eiferner Zimmerdecken. Allg. Bauz. 1856, S. 261.

Syftèmes divers de planchers en fer économiques, employés dans les plus récentes conftructions de Paris. Nouv. annales de la conft. 1856, S. 27.

ROUVENAT, P. E. *Effai fur l'emploi des fers à double* T *dans la conftruction des planchers.* Paris 1858.

Étude générale fur les planchers en fer. Nouv. annales de la conft. 1860, S. 115.

JOLLY, C. & JOLLY FILS. *Études pratiques fur la conftruction des planchers et poutres en fer etc.* Paris 1862.

Affemblages bridés pour planchers en fer. Syftème A. Offelin. Gaz. des arch. et du bât. 1864, S. 268.

SCHWAEBLÉ & A. DARRU. *Emploi des fers dits fers Zorès dans la conftruction des planchers. Nouv. édit.* Paris 1867.

RICHAUD, J. *Notes et renfeignements pratiques fur la conftruction et la réfiftance des planchers, poutres et poitrails de fer. Gaz. des arch. et du bât.* 1868—69, S. 209.

DIHM, H. Ueber die Verwendung fchmiedeeiferner I-Balken für Deckenconftructionen. Zeitfchr. d. Ver. deutfch. Ing. 1869, S. 383.

LIGER, F. *Affemblages des planchers, des pans de fer et des pans de fonte. Gaz. des arch. et du bât.* 1872, S. 41, 51, 92, 146.

LANCK. *De l'emploi rationnel et décoratif des fers à planchers. Gaz. des arch. et du bât.* 1872, S. 163; 1873, S. 13.

BARRÉ, L. A. *Conftruction des planchers métalliques. Moniteur des arch.* 1880, S. 84.

KAPAUN, F. Ueber Decken-Conftructionen im Auslande. Zeitfchr. d. öft. Ing.- u. Arch.-Ver. 1880, S. 82.

Das Kunftgewerbe-Mufeum in Berlin. Centralbl. d. Bauverw. 1882, S. 442.

Der *Gerber*'fche Träger mit frei fchwebenden Stützpunkten im Hochbau. Zeitfchr. f. Baukde. 1882, S. 543.

GUADET. *Planchers métalliques du nouvel hotel des poftes à Paris. La femaine des conft.*, Jahrg. 7, S. 138, 150, 222.

HAESECKE. Allgemeine Einführung von Eifenbalken-Decken und deren Anordnung. Centralbl. d. Bauverw. 1886, S. 134, 143.

---

6. Kapitel.

Stärke der Deckentheile und -Unterftützungen.

a) Belaftungen.

Die Abmeffungen der tragenden Deckentheile hängen vom Eigengewicht der Decken-Conftruction und von der Gröfse der von der Decke zu tragenden Nutzlaft ab.

1) Eigengewicht der Decken.

83. Eigengewicht.

Für die einfacheren Conftructionen der Holzbalkendecke find die Eigengewichte in Theil I, Band 1, zweite Hälfte (Art. 359, S. 318 [122]) diefes »Handbuches« bereits angegeben worden; diefer Tabelle wird hier noch hinzugefügt:

Es wiegt:	Kilogr.
1 cbm Gyps-Beton	1400
1 cbm Füllfand	1600
1 cbm Backftein-Beton	1700
1 cbm Kies-Beton	2200
1 cbm Schlacken-Beton (1 Theil Cement, 3 Theile Sand, 7 Theile Schlacke)	1000 bis 1100
1 cbm Schlacken-Beton mit Weifskalk (4 : 1)	1235
1 cbm Korkfteine	300
1 qm Spreutafeln von *Katz* (fiehe Art. 37, S. 45)	50
1 cbm Tuffftein	800 bis 900
1 qm hohle Terracotten, Syftem *Laporte* (fiehe Art. 35, S. 44)	80 bis 90
1 qm hohle Terracotten, amerikanifches Syftem (fiehe Fig. 121 bis 124, S. 71)	100 bis 220
1 cbm Afche	850
1 cbm Baufchutt	1530
1 qm Gypsdielen von *Mack* für jedes Centimeter Dicke	6,5
1 qm Thonplattenwölbung, Syftem *Guaftavino* (fiehe Fig. 113 u. 114, S. 67)	170 bis 195
1 cbm Mauerwerk aus hohlen Backfteinen	1250
1 qm hohle Gypsblöcke, Syftem *Perrière* (fiehe Fig. 117, S. 69)	50
1 cbm Kiefelguhr, etwas feucht	450

[122]) 2. Aufl.: Art. 22, S. 17.

Es wiegt:	Kilogr.
1 cbm Kiefelguhr, trocken	300
1 cbm Kalkpulver	940
1 cbm Torfftreu (Torfgrufs)	130
1 cbm Torfftreu mit etwas Kiefelguhr und Kalkpulver	300
1 cbm poröfe Terracotta-Platten (fiehe Fig. 74, S. 47 u. Fig. 84, S. 52)	1100
1 cbm trockenes Eichenholz	750
1 cbm trockenes Kiehnenholz	600
1 qm *Monier-* oder *Rabitz*-Platten, 1,5 cm dick	35
3 » »	75
4 » »	90
5 » »	110
1 qm in Backftein (1/2 Stein ftark) zwifchen Eifenträgern gewölbter Decke, einfchl. Fufsbodenlager und Bretterfufsboden	375
1 qm desgl. ohne Fufsboden	325
1 qm desgl., 1/4 Stein ftark, mit Fufsboden	250
1 qm desgl., 1/4 Stein ftark, ohne Fufsboden	200
1 qm desgl., in Töpfen gewölbt, 10 cm Topfhöhe	93
13 » »	101
16 » »	131
18 » »	148
26 » »	196
1 qm einer 4,5 m weiten Spreutafel-Decke mit Holzbalken, Fufsboden, Füllung und Deckenputz, 20 cm Gefammtdicke (nach Fig. 72, S. 47)	275
1 qm desgl. mit Eifenbalken, 20 cm Gefammtdicke (nach Fig. 73, S. 47 u. Fig. 133, S. 74)	200
1 qm Gypsdielen-Decke mit Eifenbalken von 6 m Weite mit drei Lagen Gypsdielen, 23 cm Gefammtdicke (nach Fig. 87 [S. 54] u. 132 [S. 74])	160
1 qm Decke mit Tuffteinausrollung auf Holzbalken, 4,5 m weit, mit Fufsboden, Füllung und Deckenputz (nach Fig. 68, S. 45)	350
1 qm Gyps-Betondecke, einfchl. Träger und Holzfufsboden, bei 70 cm Trägertheilung, Syfteme *Vaux*, *Thuasne*, *Rouffel* (fiehe Fig. 98 u. 99, S. 60)	290
1 qm Decke mit gebogenen *Monier*-Platten, 5 cm dick, Schlacken-Betonfüllung, Fufsboden und Deckenputz (fiehe Fig. 158, S. 84), einfchl. Träger	330
1 qm Balkendecke mit Tuffftein ausgerollt, mit Fufsboden und Deckenputz	370
1 qm mit hohlen Gypsblöcken ausgefetzte Decke, einfchl. Träger und Fufsboden, bei 70 cm Trägertheilung (fiehe Fig. 112, S. 66)	240
1 qm desgl. mit Hohlziegeln ausgefetzt (fiehe Fig. 111, S. 66)	270
1 qm Decke in Hohlziegeln gewölbt, einfchl. Träger und Fufsboden (fiehe Fig. 115, S. 68)	260
1 qm Decke mit unten ebenen Terracotten (fiehe Fig. 119 [S. 70], 121 u. 122 [S. 71], 126 [S. 72]), einfchl. Träger und Fufsboden	220
1 qm desgl., unten gewölbt (fiehe Fig. 120, S. 70)	220

Bei feltener vorkommenden Decken-Conftructionen, für welche die Gewichte erfahrungsmäfsig nicht feft ftehen, ftellt man zweckmäfsig eine genaue Gewichtsberechnung auf, indem man zuerft den Bodenbelag und die Deckenbildung, dann die Fachfüllung und fchliefslich das Tragwerk feft ftellt, für den unten liegenden Theil jedesmal das feft geftellte Gewicht des aufruhenden mit in Rechnung ftellend. Nach diefem Gedankengange follen im Folgenden die einzelnen Theile der Decken ihren Abmeffungen nach befprochen werden.

2) Nutzlaft.

84. Nutzlaft.

Die Nutzlaften, welche die Decken-Conftructionen zu tragen haben, find bereits in Theil I, Band 1, zweite Hälfte (Art. 359, S. 318[123]) diefes »Handbuches« angegeben worden. Hierzu fei noch bemerkt, dafs die Lagerhäufer der Seehäfen jetzt in den unteren Gefchoffen mit 1500 kg und im oberften Gefchofs mit 900 kg für 1 qm Deckenfläche berechnet werden; in den zwifchengelegenen Gefchoffen läfft man die Belaftung allmählig abnehmen.

Nach einem von einer Commiffion des Architekten-Vereins zu Berlin 1885 erftatteten Gutachten, betreffend den Schutz der Perfonen in öffentlichen Verfammlungsräumen, foll als Belaftung jene durch Menfchengedränge (für 1 qm 6 erwachfene Perfonen zu je 75 kg, zufammen 450 kg) gerechnet werden.

b) Abmeffungen der Deckentheile.

1) Stärke der Fufsbodenbeläge.

85. Hölzerne Fufsböden.

Die Stärke der Fufsbodenbeläge entzieht fich in den allermeiften Fällen einer Berechnung. Wenn man bei den gewöhnlichen hölzernen Fufsböden die Bretter fo berechnet, dafs fie fich bei einer zuläffigen Beanfpruchung von 80 kg für 1 qcm als Träger auf zwei Stützen zwifchen letzteren frei tragen können, fo fallen für die gewöhnlichen Balkentheilungen und in Rückficht auf die Abnutzung die Bretterftärken zu gering aus. Nur in fchwer belafteten Speichern, zumal bei der in Fig. 25 (S. 20) dargeftellten Conftruction ohne Balken, werden die Bohlen rechnungsmäfsig ftärker. Hier empfiehlt es fich, die eigentlichen (unteren) Tragbohlen nach den berechneten Mafsen auszuführen, fie dann aber mit einer zweiten, erftere rechtwinkelig kreuzenden, mindeftens 3 cm dicken Bohlenlage abzudecken, welche nach erfolgter Abnutzung allein ausgewechfelt werden kann.

86. Eftriche u. Plattenbeläge.

Eftriche aus Gyps, Cementmörtel oder Afphalt dürfen nicht als tragende Bautheile angefehen werden; fie bedürfen vielmehr als Unterftützung einer Fachausfüllung, welche die ganze Belaftung aufzunehmen im Stande ift; der Eftrich nimmt nur die Abnutzung auf. Eben fo bilden die Beläge mit natürlichen Steinplatten, Thonfliefen etc. nur eine fchützende, keine tragende Schicht; auch fie bedürfen daher einer durchlaufenden Unterftützung.

2) Stärke der Ausfüllungen der Balkenfache.

87. Gewöhnliche Fachausfüllungen.

Die Wellerung oder Stakung und die Einfchubdecke (fiehe Fig. 52 u. 53 [S. 41], 54 [S. 42], 57, 59 u. 60 [S. 43]) find nicht im Stande, erhebliche Laften aufzunehmen, bedürfen daher des Schutzes eines tragfähigen Fufsbodens; nur der geftreckte Windelboden (fiehe Fig. 51, S. 40) wird in ländlichen Gebäuden wohl unmittelbar geringen Laften, wie niedrigen Lagen von Futter oder Stroh, ausgefetzt. Eben fo wird auch der Dübelboden (fiehe Fig. 48 bis 50, S. 38) in der Regel keinen Laften ausgefetzt.

88. Fachausfüllungen mit künftlichen Steinen.

Ebene Fachfüllungen mit Gypsdielen (fiehe Fig. 87, S. 54), Spreutafeln (fiehe Fig. 70 bis 73, S. 46 u. 47), Tufffteinen (fiehe Fig. 68, S. 45), Terracotta (fiehe Fig. 74, S. 47), Gyps-Beton (fiehe Fig. 86 [S. 53], 98 u. 99 [S. 60]), Hohlziegeln (fiehe Fig. 79, S. 51), poröfen Ziegeln, hohlen Gypsblöcken (fiehe Fig. 80, S. 51), hohlen Terracotta-Kaften (fiehe Fig. 63 [S. 44], 64 [S. 45], 117 [S. 69], 119 bis 122

[123]) 2. Aufl.: Art. 24, S. 19 u. 20.

[S. 70 u. 71]) können zwar grofsentheils, namentlich bei Anordnungen wie in Fig. 79 (S. 51), 117 (S. 69), 119 bis 122 (S. 70 u. 71), erhebliche Laften tragen, deren Gröfse in den früheren Mittheilungen über Belaftungsverfuche angegeben ift; in der Regel erhalten fie jedoch keine Laft, da diefe von nur lofe oder gar nicht auf der Füllung ruhenden Hölzern oder Brettern auf die Balken oder Träger gebracht wird. Nothwendig ift diefe Entlaftung bei den Anordnungen in Fig. 68 (S. 45), 74 (S. 47), 86 (S. 53), 98 u. 99 (S. 60), da diefe wenig Tragfähigkeit befitzen. Die Tragfähigkeit der aus einzelnen Theilen — poröfen oder hohlen Ziegeln, Gyps- oder Terracotta-Kaften — zufammengefetzten Füllungsplatten hängt, da fie auf Biegung beanfprucht werden, lediglich von der Zugfeftigkeit des die Fugen füllenden Mörtels ab. Die Dicke der Platte d ift bei der Trägertheilung b, der Nutzlaft p für die Flächeneinheit, dem Gewichte g der Flächeneinheit des Fufsbodens und der Ueberfüllung, dem Gewichte γ der Raumeinheit der Platte und der zuläffigen Beanfpruchung s des Fugenmörtels auf Zug für die Flächeneinheit zu beftimmen nach der Formel:

$$d = \frac{3b^2}{2s}\left[\frac{\gamma}{4} + \sqrt{\left(\frac{\gamma}{4}\right)^2 + \frac{(p+g)s}{3b^2}}\right] \quad \ldots\ldots\ 1.$$

Beifpiel. Ein hölzerner Bretterfufsboden von 3^{cm} Dicke mit 8^{cm} Unterfüllung aus Schlacken-Beton wiegt für 1^{qm} $(g =)$ $0{,}03 \cdot 600 + 0{,}08 \cdot 1230 = 116^{\text{kg}}$ und hat $(p =)$ 500^{kg} Nutzlaft auf 1^{qm} zu tragen. Die Theilung b der eifernen Träger fei $0{,}8^{\text{m}}$ und das Gewicht der Platte für Hohlziegel $(\gamma =)$ 1250^{kg} für 1^{cbm}. Die Fugen werden in Cementmörtel der Mifchung 1 : 3 ausgeführt, welchem mit Sicherheit nur $(s =)$ $15\,000^{\text{kg}}$ Zug auf 1^{qm} zugemuthet werden dürfen. Es mufs dann fein

$$d = \frac{3 \cdot 0{,}8^2}{2 \cdot 15\,000}\left[\frac{1250}{4} + \sqrt{\left(\frac{1250}{4}\right)^2 + \frac{(500 + 116)\,15\,000}{3 \cdot 0{,}8^2}}\right] = 0{,}16^{\text{m}}.$$

89. Ebene Betonplatten.

Ebene Betonplatten (Fig. 164 bis 167 [124]) unterfcheiden fich hinfichtlich der Stärkenbeftimmung von den eben befprochenen Fachausfüllungen nicht, welche nach Gleichung 1 erfolgt. Da jedoch der Beton in Folge des gleichmäfsigen Gefüges mehr Sicherheit gegen Zugbeanfpruchung befitzt, als eine Platte aus einzelnen durch Fugen getrennten Körpern, für welche nicht eigentlich die Zugfeftigkeit des Mörtels, fondern nur das von mancherlei Zufälligkeiten abhängige Anhaften des Mörtels an den Steinen in Frage kommt, fo kann die zuläffige Zugbeanfpruchung s hier höher — bei den fetteren Betonarten und guter Herftellung bis $30\,000^{\text{kg}}$ für 1^{qcm} — angenommen werden. Eine Ueberfüllung aus Schlacken-Beton (Fig. 164 bis 166) kann, wenn fie unmittelbar auf der ganz frifchen Betondecke eingeftampft ift, als mit zur berechneten Plattendicke gehörend angefehen werden.

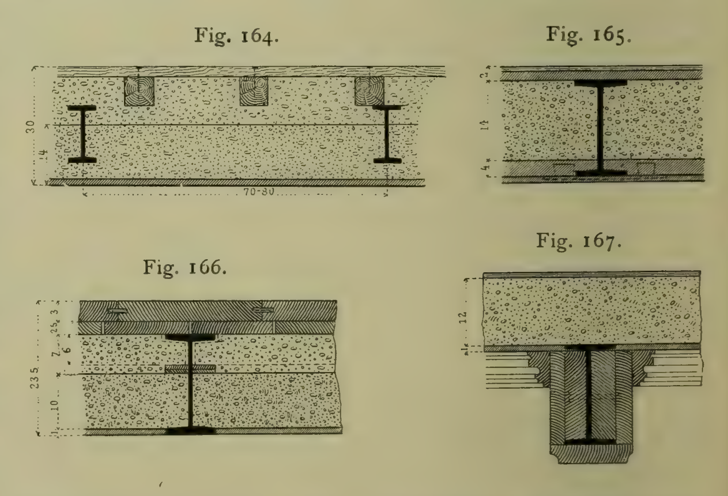
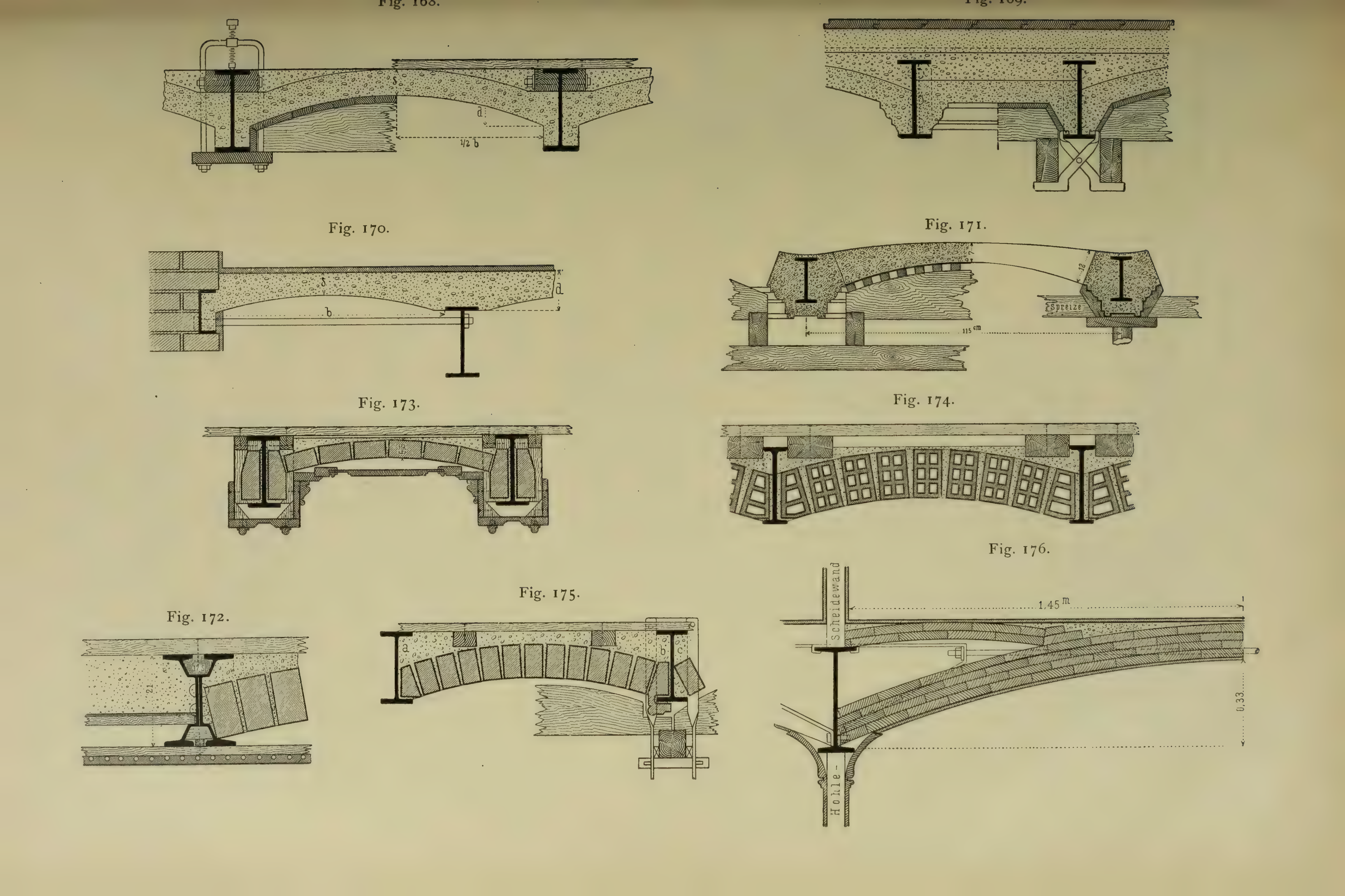


Fig. 164. Fig. 165. Fig. 166. Fig. 167.

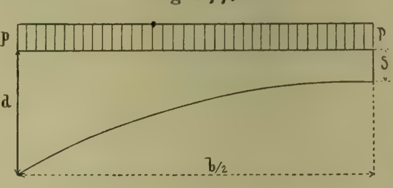
124) Vergl.: Art. 72 (S. 80) — ferner: ENGESSER, F. Ueber die Feftigkeit von Beton-Bogen. Deutfche Bauz. 1881, S. 580.


Fig. 168.
d
1/2 b
Fig. 169.
Fig. 170.
δ
d
b
Fig. 171.
12
Spreize
115 cm
Fig. 173.
Fig. 174.
Fig. 176.
Scheidewand
1,45 m
0,33
Hohle -
Fig. 175.
a
b
c
Fig. 172.
21

90.
Auswölbung
der
Balkenfache.

Die Auswölbung der Balkenfache ohne Uebermauerung im Scheitel iſt gewöhnlich bei Betonwölbung (Fig. 168 bis 171 [125]), jedoch auch bei Backſteinwölbung (Fig. 172 bis 176) verwendbar. Als Weite b der Wölbung wird in der Regel die Trägertheilung anzuſehen ſein; doch kann man, genau genommen, auch das Lichtmaſs zwiſchen den Kanten der Trägerflanſchen einführen (Fig. 168 u. 170).

Fig. 177.



Sind für eine derartige Wölbung (Fig. 177) die zuläſſige Beanſpruchung auf die Flächeneinheit des Kappenquerſchnittes s, das Gewicht der Kappe und der Schenkelübermauerung γ für die Raumeinheit, die gleichförmig vertheilte Nutzlaſt p für die Flächeneinheit, ſo ſind in der Regel p, γ, b und s gegeben, und die ganze Wölbhöhe d, die Scheitelſtärke δ und der wagrechte Schub H' folgen aus:

$$d = \frac{b^2 (6p + 5\gamma\delta) + 16 s \delta^2}{24 s \delta - \gamma b^2}; \qquad 2.$$

$$\delta = 0{,}75\, d - \frac{5}{32} \frac{\gamma b^2}{s} - \sqrt{\left(0{,}75\, d - \frac{5}{32} \frac{\gamma b^2}{s}\right)^2 - \frac{b^2}{16 s} (\gamma d + 6p)}; \qquad 3.$$

$$H' = \frac{s\delta}{2} \qquad 4.$$

Der wagrechte Widerſtand, welchen ein unbelaſtetes Gewölbe einem benachbarten, voll belaſteten höchſtens leiſten kann, beträgt:

$$H'' = \frac{\sqrt{9 s^2 (d - 2\delta)^2 + \gamma s b^2 (d + 5\delta)} - 3 s (d - 2\delta)}{8} \qquad 5.$$

In gewiſſen Fällen, namentlich bei groſsem δ und kleinem d, kann ſich nach dieſen Formeln H'' gröſser als H' ergeben, was widerſinnig wäre. In ſolchen Fällen iſt dann $H'' = H'$ anzunehmen.

Beiſpiel. Für einen Speicherboden ſeien die Trägertheilung ($b =$) $1{,}6$ m, die Belaſtung ($p =$) 750 kg auf 1 qm, das Gewicht des verwendeten Betons 2200 kg für 1 cbm und die zuläſſige Beanſpruchung (s) für die Betonmiſchung mit Rückſicht auf vorkommende Stöſse 30 000 kg für 1 qm; ſchlieſslich ſoll der Scheitel die Stärke von 10 cm erhalten, ſonach $\delta = 0{,}1$ m ſein. Es iſt dann nach Gleichung 2 die ganze Wölbhöhe

$$d = \frac{1{,}6^2 (6 \cdot 750 + 5 \cdot 2200 \cdot 0{,}1) + 16 \cdot 30\,000 \cdot 0{,}1^2}{24 \cdot 30\,000 \cdot 0{,}1 - 2200 \cdot 1{,}6^2} = 0{,}288 \text{ m},$$

und der Schub des Gewölbes für 1 m Länge nach Gleichung 4

$$H' = \frac{30\,000 \cdot 0{,}1}{2} = 1500 \text{ kg},$$

ferner der Widerſtand des unbelaſteten Gewölbes nach Gleichung 5

$$H'' = \frac{\sqrt{9 \cdot 30\,000^2 (0{,}228 - 2 \cdot 0{,}1)^2 + 2200 \cdot 30\,000 \cdot 1{,}6^2 (0{,}228 + 5 \cdot 0{,}1)} - 3 \cdot 30\,000\,(0{,}228 - 2 \cdot 0{,}1)}{8} = 1110 \text{ kg}.$$

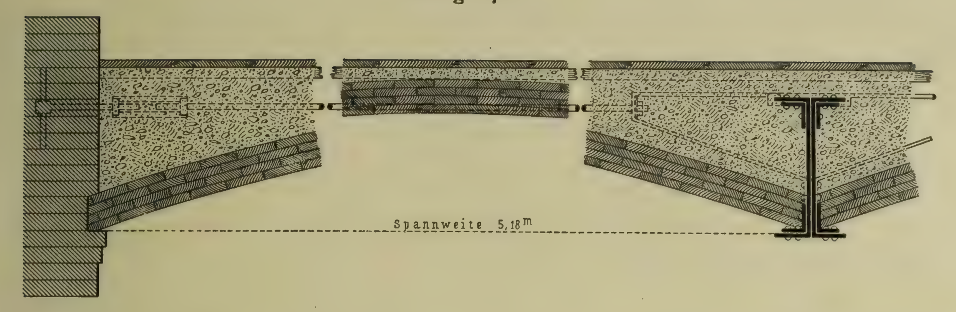
Wäre z. B. wegen beſtimmter Höhe der ganzen Decke von vorn herein $d = 0{,}3$ m vorgeſchrieben, ſo wäre nach Gleichung 3

$$\delta = 0{,}75 \cdot 0{,}3 - \frac{5}{32} \frac{2200 \cdot 1{,}6^2}{30\,000} - \sqrt{\left(0{,}75 \cdot 0{,}3 - \frac{5}{32} \frac{2200 \cdot 1{,}6^2}{30\,000}\right)^2 - \frac{1{,}6^2}{16 \cdot 30\,000} (2200 \cdot 0{,}3 + 6 \cdot 750)} = 0{,}092 \text{ m}$$

zu machen.

[125]) Siehe: ENGESSER, F. Ueber die Feſtigkeit von Beton-Bogen. Deutſche Bauz. 1881, S. 580.

Fig. 178.



91.
Auswölbung mit Scheitelübermauerung.

Die Auswölbung der Balkenfache mit Uebermauerung im Scheitel wird namentlich bei Backsteinwölbungen (siehe Fig. 172 bis 174 u. 178) verwendet, ist jedoch auch bei Betonwölbungen verwendbar, wenn man eine Wölbung aus fetter Mischung von der mageren Ueberschüttung gesondert herstellt (siehe Fig. 169 u. 179). Das Gewicht der Uebermauerung kann in der Regel gleich dem der Wölbung γ gesetzt werden. Bei Backsteinwölbungen ist hier δ (siehe Fig. 125, S. 72) gegeben, nämlich der gewählten Steinstärke gleich zu setzen. Uebermauerung und Scheitel haben zusammen die Stärke h.

Fig. 179.



Mit Bezug auf Fig. 180 sind hier bei den obigen Bezeichnungen

$$d = \frac{8\,s\,\delta\,(3\,h - \delta) + b^2\,(6\,p + 5\,\gamma\,h)}{24\,\delta\,s - \gamma\,b^2}, \quad \ldots\ldots \quad 6.$$

$$\delta = 0{,}5\sqrt{9\,(d-h)^2 + \frac{b^2}{s}\left[\frac{\gamma\,(d+5\,h)}{2} + 3\,p\right]} - \frac{3}{2}\,(d-h), \quad \ldots \quad 7.$$

$$H' = 0{,}5\;s\;\delta\,, \quad \ldots\ldots \quad 8.$$

und der gröfstmögliche Gegenschub des unbelasteten Gewölbes

$$H'' = 0{,}125\left[\sqrt{9\,s^2\,(d-h-\delta)^2 + \gamma\,s\,b^2\,(d+5\,h)} - 3\,s\,(d-h-\delta)\right] \quad . \quad 9.$$

Würde hiernach $H'' > H'$, so wäre $H'' = H'$ anzunehmen. Bei durch die Trägerverhältnisse fest gesetztem d und angenommenem δ kann h bestimmt werden aus

$$h = \frac{8\,s\,\delta\,(3\,d + \delta) - b^2\,(6\,p + \gamma\,d)}{5\,\gamma\,b^2 + 24\,s\,\delta} \quad 10.$$

Fig. 180.

Eine üble Eigenschaft aller Kappenwölbungen ist die wagrechte Belastung der sie aufnehmenden Träger, da diese in seitlicher Richtung nicht viel Widerstand leisten können, selbst wenn man besondere, theuere Trägerquerschnitte — etwa nach *Gocht*, *Klette* oder *Lindsay* — verwendet.

Die Kappen lassen sich jedoch so bemessen, dass die unbelastete im Stande ist, ohne Ueberschreitung der zulässigen Beanspruchung einen dem Schube der benachbarten, belasteten Kappe gleichen Widerstand zu leisten, wobei dann auf die Träger keine seitliche Belastung, sondern nur ein geringes Verdrehungsmoment einwirkt. Die Abmessungen solcher Kappen gleichen Schubes sind nach Gleichung 11

bis 20 zu beftimmen, welche zugleich den Fall berückfichtigen, dafs Kappe und Uebermauerung verfchiedenes Einheitsgewicht haben (fiehe Fig. 179 u. 181).

Fig. 181.

Zu unterfcheiden find noch die beiden Fälle, dafs die Kappe überall gleich ftark ift oder dafs fie fo an Stärke zunimmt, dafs überall die lothrechte Abmeffung der Fugen gleich δ wird.

Für beide Fälle ift (Fig. 181)

$$\delta_1 = \delta\,(1 + k), \qquad 11.$$

und zwar im erfteren Falle

$$k = 8\left(\frac{d-h}{b}\right)^2, \qquad 12.$$

im letzteren Falle

$$k = 16\left(\frac{d-h}{b}\right)^2 \qquad 13.$$

Die Pfeile werden bei diefen Kappen fehr flach. Die Werthe für k folgen für einige der gewöhnlichften Pfeilverhältniffe $\frac{d-h}{b}$ aus der nachftehenden Zufammenftellung.

$\frac{d-h}{b} =$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{18}$	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{22}$
Kappenftärke bleibt unverändert $k = 8\left(\frac{d-h}{b}\right)^2$	0,055	0,036	0,025	0,020	0,0165
Kappenftärke wächst $k = 16\left(\frac{d-h}{b}\right)^2$	0,111	0,072	0,050	0,040	0,033

Ein dem vorliegenden Falle nach Schätzung entfprechender Werth für k ift zunächft anzunehmen; dann ergeben fich die übrigen Abmeffungen nach dem aus äufseren Bedingungen von vornherein feft ftehenden h, wie folgt:

$$\delta = \frac{b}{2}\sqrt{\frac{3p}{s\,(2+k)}}\,; \qquad 14.$$

$$d = h + b\,\frac{6\,[\gamma h\,(2+k) + p\,(1+2k)] + (\gamma_1 - \gamma)\,\delta\,(6+k)\,(2+k)}{\sqrt{432\,sp\,(2+k)} - \gamma\, b\,(2+k)}\,; \qquad 15.$$

$$H' = H'' = \frac{\delta s}{2} \qquad 16.$$

Das Verdrehungsmoment für den Träger ift

$$M_t = \frac{s\,\delta^2\,(1+k)}{6} \text{ für die Längeneinheit des Trägers} \qquad 17.$$

Das Gewicht der Längeneinheit einer Kappe ift (Fig. 181)

$$G = b\left[\frac{\gamma}{3}\,(d + 2h) + (\gamma_1 - \gamma)\,\frac{\delta}{2}\left(1 + \frac{k}{3}\right)\right] \qquad 18.$$

Ift das Einheitsgewicht der Uebermauerung gleich dem der Kappe, alfo $\gamma = \gamma_1$, fo bleiben die obigen Gleichungen beftehen; nur geht Gleichung 15 über in

$$d_{\gamma=\gamma_1} = h + b \frac{6\,[\gamma h\,(2+k) + p\,(1+2k)]}{\sqrt{432\,sp\,(2+k)} - \gamma b\,(2+k)} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad 19.$$

und Gleichung 18 in (Fig. 181)

$$G_{\gamma=\gamma_1} = \frac{\gamma b\,(d+2h)}{3} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 20.$$

Ergiebt fich in beftimmtem Falle nach Gleichung 14 ein δ, welches gröfser ift, als das zunächft angenommene h, fo ift in den weiteren Formeln δ ftatt h einzuführen, und die Kappe erhält im Scheitel keine Uebermauerung.

Es ift fchliefslich zu prüfen, ob für die berechnete Kappe $\frac{d-h}{b}$, d. h. das Pfeilverhältnifs, mit demjenigen übereinftimmt, welches dem zuerft angenommenen k-Werthe nach Gleichung 12 oder 13 zu Grunde liegt. Ift dies nicht der Fall, fo ift die Rechnung mit dem dem berechneten $\frac{d-h}{b}$ nach Gleichung 11 oder 12 entfprechenden k zu wiederholen. Da fich jedoch die Gröfsen δ und d mit erheblichen Abweichungen von k nur langfam ändern, fo wird diefe Berichtigungsrechnung nur felten erforderlich werden.

Beifpiel. In einem Lagerhaufe follen die Kappen zwifchen Eifenträgern fo gewölbt werden, dafs letztere keinen Seitenfchub erhalten. Die Dicke der Decke foll an den fchwächften Stellen, wegen Dichtigkeit gegen Kälte, mindeftens ($h =$) 18^{cm} betragen. Die Kappen werden in hartem Backftein mit $\gamma_1 = 0{,}0018^{\text{kg}}$ für 1^{cbcm} und mit Rückficht auf Stöfse $s = 6^{\text{kg}}$ für 1^{qcm} gewölbt, dann mit Schlacken-Beton ($\gamma = 0{,}00123^{\text{kg}}$ für 1^{cbcm}) überftampft; die Trägertheilung ift ($b =$) 150^{cm}, die zu tragende Verkehrslaft ($p =$) $0{,}12^{\text{kg}}$ für 1^{qcm}.

Es ift zunächft bei Backfteinwölbung gleich bleibende Kappenftärke vorauszufetzen und daher nach der Zufammenftellung zu Gleichung 11 bis 14, bei dem angenommenen Pfeilverhältniffe $\frac{d-h}{b} = \frac{1}{20}$, $k = 0{,}02$ einzuführen. Es wird dann nach Gleichung 14

$$\delta = \frac{150}{2}\sqrt{\frac{3 \cdot 0{,}12}{6 \cdot 2{,}02}} = 12{,}92^{\text{cm}} = \backsim 13^{\text{cm}},$$

und nach Gleichung 15

$$d = 18 + 150 \frac{6\,(0{,}00123 \cdot 18 \cdot 2{,}02 + 0{,}12 \cdot 1{,}04) + (0{,}0018 - 0{,}00123) \cdot 12{,}92 \cdot 6{,}02 \cdot 2{,}02}{\sqrt{432 \cdot 6 \cdot 0{,}12 \cdot 2{,}02} - 0{,}00123 \cdot 150 \cdot 2{,}02} = 24{,}72^{\text{cm}} = \backsim 25^{\text{cm}};$$

ferner nach Gleichung 16

$$H' = H'' = \frac{12{,}92 \cdot 6}{2} = 37{,}8^{\text{kg}} \text{ für 1 lauf. Centim. Träger,}$$

nach Gleichung 17

$$M_t = \frac{6 \cdot 12{,}92^2 \cdot 1{,}02}{6} = 170^{\text{cmkg}} \text{ für 1 lauf. Centim. Träger,}$$

endlich nach Gleichung 18

$$G = 150\left[\frac{0{,}00123}{3}(25 + 2 \cdot 18) + (0{,}0018 - 0{,}00123)\frac{13}{2}\left(1 + \frac{0{,}02}{3}\right)\right] = 4{,}31^{\text{kg}} \text{ für 1 lauf. Centim. Träger.}$$

Bei diefen Abmeffungen wird $\frac{d-h}{b} = \frac{25-18}{150} = \frac{1}{21{,}4}$; angenommen war $\frac{1}{20}$. Diefe Abweichung hat auf k einen fo geringen Einflufs, dafs die Berichtigungsrechnung nicht angeftellt zu werden braucht.

92. Fachausfüllung mit *Monier*- und *Rabitz*-Platten.

Die Stärke ebener Mörtelplatten [126]) mit Drahteinlagen, wie fie in Fig. 182, 183 rechts u. 184 dargeftellt find, kann, wenn man die Spannungsvertheilung in der

[126]) Ueber ausgedehnte Belaftungsverfuche mit *Monier*-Platten fiehe: Deutfche Bauz. 1886, S. 297 — ferner: Wayss, G. A. Das Syftem *Monier*. Berlin 1887.

Platte als nach Fig. 185 [127]) vorgehend anſieht, nach den nachfolgenden Regeln bemeſſen werden. Es bezeichne q die geſammte bleibende und bewegliche Auflaſt der Platte für die Flächeneinheit, γ das Gewicht der Raumeinheit der Platte ſelbſt, s die zuläſſige Beanſpruchung der Flächeneinheit des Plattenquerſchnittes auf Druck (bei Cement-Mörtel der Miſchung 1 : 3 etwa 16 kg für 1 qcm), s_e die zuläſſige Zugbeanſpruchung auf die Flächeneinheit des Querſchnittes der eingelegten Drähte, δ die Plattendicke, b die Theilung der die Platte tragenden Träger,

Fig. 182.

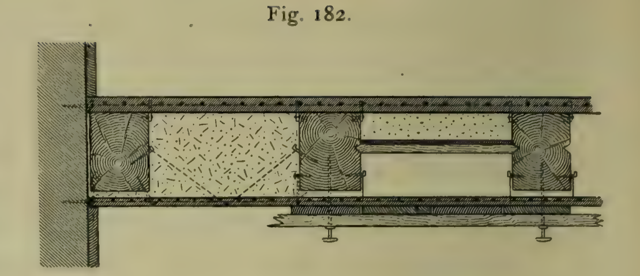
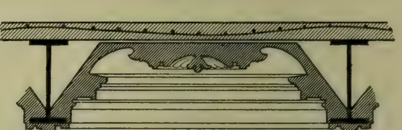


Fig. 183.

Fig. 184.



d den Durchmeſſer der eingelegten Drähte, t die Theilung der letzteren (Fig. 185) und a den Abſtand der Drahteinlage von der gezogenen Auſsenkante der Platte; alsdann mache man

$$\delta = 0{,}3 \left[2a + \frac{\gamma b^2}{s} + \sqrt{\left(2a + \frac{\gamma b^2}{s}\right)^2 + \frac{20 q \cdot b^2}{3 s}} \right] \quad . \; . \; . \quad 21.$$

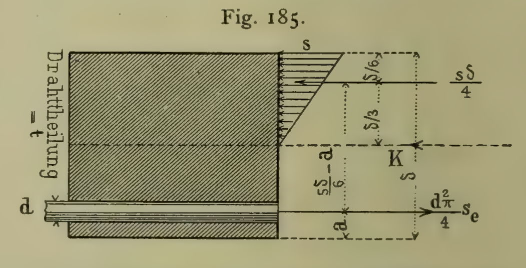
$$d = \sqrt{\frac{t}{\pi} \frac{s}{s_e} \delta} \quad \text{oder} \quad t = \pi \frac{s_e}{s} \frac{d^2}{\delta} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 22.$$

Wird noch der Abſtand a als Theil der Plattendicke feſt gelegt, alſo $a = \frac{\delta}{m}$ geſetzt, ſo lautet Gleichung 21:

$$\delta = \frac{1{,}5\, m}{5m - 6} \frac{\gamma b^2}{s} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4}{3} \cdot \frac{5m - 6}{m} \cdot \frac{s q}{\gamma^2 b^2}}\right) \quad . \; . \; . \quad 23.$$

Die Formeln liefern für durchlaufende, über den Trägern nicht geſtoſsene Platten (Fig. 182 u. 184) etwas ſicherere Ergebniſſe, als für die Platten mit Fugen über den Trägern (Fig. 183 rechts). Man kann daher die zuläſſigen Beanſpruchungen s und s_e für durchlaufende Platten etwas höher annehmen, als für unterbrochene, vorausgeſetzt, daſs die Drahteinlage nach Fig. 184 geſchlängelt ausgebildet iſt.

Fig. 185.



Beiſpiel. Auf einem Trägerroſte von ($b =$) 80 cm Theilung, welcher ($q =$) 0,04 kg auf 1 qcm Grundfläche zu tragen hat, ſoll eine Platte aus Cement-Mörtel (von der Miſchung 1 : 5) des Gewichtes ($\gamma =$) 0,002 kg für 1 cbcm und mit der zuläſſigen Druckbeanſpruchung ($s =$) 8 kg für 1 qcm hergeſtellt werden, in welcher die Drahteinlage um ($a =$) 1 cm von der Unterkante abſteht.

[127]) Vergl.: Centralbl. d. Bauverw. 1886, S. 462 — ferner eine ſchärfere Berechnung in: Wochſchr. d. öſt. Ing.- u. Arch.-Ver. 1890, S. 209 u. 224.

Nach Gleichung 21 wird

$$\delta = 0{,}3 \left[2 \cdot 1 + \frac{0{,}002 \cdot 80^2}{8} + \sqrt{\left(2 \cdot 1 + \frac{0{,}002 \cdot 80^2}{8}\right)^2 + \frac{20 \cdot 0{,}04 \cdot 80^2}{3 \cdot 8}}\right] = 5{,}6^{\text{cm}}.$$

Wird für den Draht die Beanfpruchung von ($s_e =$) 1000 kg für 1 qcm zugelaffen und follen ($d =$) 0,4 cm ftarke Drähte zur Verwendung kommen, fo ift nach Gleichung 22 die Theilung

$$t = 3{,}14 \frac{1000}{8} \frac{0{,}4^2}{5{,}6} = 11{,}2^{\text{cm}}$$

weit zu machen. Wäre beftimmt, dafs die Drahteinlage fich um den ($m =$) 5,6-ten Theil der Dicke von der Unterkante befinden foll, fo würde fich nach Gleichung 23 eben fo ergeben haben

$$\delta = 1{,}5 \frac{5{,}6 \cdot 0{,}002 \cdot 80^2}{(5 \cdot 5{,}6 - 6) \cdot 8} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4\,(5 \cdot 5{,}6 - 6) \cdot 8 \cdot 0{,}04}{3 \cdot 5{,}6 \cdot (0{,}002 \cdot 80)^2}}\right] = 5{,}6^{\text{cm}}.$$

Die gebogenen Mörtelplatten für Trägerfache (Fig. 183) erhalten zweckmäfsig zwei Drahteinlagen, da der Sinn der Biegungsmomente für alle Querfchnitte wechfeln kann.

Fig. 186.



Die Aufftellung der Regeln für die Stärkenbemeffung erfolgt mit Bezug auf Fig. 186. Es bedeute s die zuläffige Beanfpruchung des Plattenmörtels auf Druck für die Flächeneinheit des Querfchnittes, s_e diejenige des Drahtes in den Drahteinlagen, p die Nutzlaft für die Flächeneinheit, g das Gewicht eines etwa vorhandenen Fufsbodenbelages für die Flächeneinheit, γ das Gewicht der Raumeinheit der Plattenüberfüllung, γ_1 das Gewicht der Raumeinheit des Plattenmörtels, b die Trägertheilung (Bogenweite), h den Pfeil der Bogenmittellinie, c die Höhe der Bogenüberfüllung im Scheitel, δ die Plattenftärke und $\frac{\delta}{m}$ den Theil der Plattenftärke, welchen die Drahteinlage oben und unten abfchneidet; die Plattenftärke folgt alsdann aus

$$\delta = \frac{1}{\frac{8hs}{b^2} - \gamma_1} \left[\frac{q}{2} + \sqrt{\left(\frac{q}{2}\right)^2 + \frac{3{,}1\, m\, p\, h \left(\frac{8hs}{b^2} - \gamma_1\right)}{5m - 6}}\right]; \quad . \quad . \quad 24.$$

darin ift q aus der Erklärungsgleichung:

$$q = \gamma \left(c + \frac{h}{5}\right) + g + 0{,}6\, p \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 25.$$

zu beftimmen. Der Drahtdurchmeffer d oder die Drahttheilung t der Einlagen folgt aus

$$d = b \sqrt{\frac{m\, t\, p}{8{,}1\,(5m - 6)\,\delta\, s_e}} \quad \text{oder} \quad t = \frac{8{,}1\,(5m - 6)\,\delta\, s_e}{m\, p} \left(\frac{d}{b}\right)^2 \quad . \quad . \quad 26.$$

Der gröfste Schub H', welchen eine voll belaftete Bogenplatte leiftet, ergiebt fich zu

$$H' = \frac{b^2}{8h} \left[\gamma_1 \delta + \gamma \left(c + \frac{h}{5}\right) + g + p\right], \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 27.$$

und bezeichnet g_1 nach der Erklärungsgleichung

$$g_1 = \gamma_1 \delta + \gamma \left(c + \frac{h}{5}\right) + g, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 28.$$

fo ergiebt fich der gröfste Gegenfchub H', den eine unbelaftete Bogenplatte leiften kann, aus

$$H'' = \frac{s\,\delta^2\,(5m - 6) + 3\,m\,g_1\,b^2}{\delta\,(5m - 6) + 24\,m\,h} \qquad \qquad 29.$$

Beifpiel. Ein mit $(p =)$ 0,05 kg für 1 qcm belafteter Cement-Eftrich von 3 cm Dicke wiegt $(g =)$ 0,006 kg für 1 qcm und ruht auf einer Sandfüllung mit $(\gamma =)$ 0,0016 kg Gewicht für 1 cbcm zwifchen Trägern von $(b =)$ 150 cm Theilung. Die Sandfüllung ift im Scheitel $(c =)$ 8 cm ftark; der Pfeil der Bogenplatte beträgt $(h =)$ 15 cm; 1 cbcm der Platte wiegt $(\gamma_1 =)$ 0,002 kg; die Drahteinlagen follen aus $(d =)$ 0,4 cm dicken Drähten beftehen und um $\frac{\delta}{4}$ $(m = 4)$ von den Aufsenflächen entfernt fein. Die zuläffige Beanfpruchung des Cement-Mörtels (der Mifchung 1 : 3) auf Druck fei $(s =)$ 16 kg für 1 qcm, diejenige des Drahtes $(s_e =)$ 1100 kg für 1 qcm. Alsdann ift nach Gleichung 25

$$q = 0{,}0016\left(8 + \frac{15}{5}\right) + 0{,}006 + 0{,}6 \cdot 0{,}05 = 0{,}0536 \text{ kg};$$

alfo nach Gleichung 24

$$\delta = \frac{1}{\frac{8 \cdot 15 \cdot 16}{150^2} - 0{,}002}\left[\frac{0{,}0536}{2} + \sqrt{\left(\frac{0{,}0536}{2}\right)^2 + \frac{3{,}1 \cdot 4 \cdot 0{,}05 \cdot 15\left(\frac{8 \cdot 15 \cdot 16}{150^2} - 0{,}002\right)}{5 \cdot 4 - 6}}\right] = 3{,}2 \text{ cm}.$$

Ferner ift nach Gleichung 26 die Drahttheilung

$$t = \frac{8{,}1 \cdot (5 \cdot 4 - 6) \cdot 3{,}2 \cdot 1100}{4 \cdot 0{,}05}\left(\frac{0{,}4}{150}\right)^2 = 14{,}2 \text{ cm}.$$

Der gröfste Schub der vollen Kappe auf 1 cm Länge wird nach Gleichung 27

$$H' = \frac{150^2}{8 \cdot 15}\left[0{,}002 \cdot 3{,}2 + 0{,}0016\left(8 + \frac{15}{5}\right) + 0{,}006 + 0{,}05\right] = 15 \text{ kg}.$$

Nach Gleichung 28 wird $g_1 = 0{,}002 \cdot 3{,}2 + 0{,}0016\left(8 + \frac{15}{5}\right) + 0{,}006 = 0{,}03$ kg, alfo nach Gleichung 29 der gröfstmögliche Gegenfchub der unbelafteten Bogenplatte auf 1 cm Länge

$$H'' = \frac{16 \cdot 3{,}2^2\,(5 \cdot 4 - 6) + 3 \cdot 4 \cdot 0{,}03 \cdot 150^2}{3{,}2\,(5 \cdot 4 - 6) + 24 \cdot 4 \cdot 15} = 7 \text{ kg}.$$

93. Fachausfüllung mit Tonnenblechen.

Sind die Balkenfache mit Tonnenblechen ausgefüllt (Fig. 187 u. 188), fo ift der wagrechte Zug, welcher fich in einem Bleche der vollen Belaftung q, des Pfeiles f (Fig. 188) und der Weite (Trägertheilung) b entwickelt, $H' = \frac{q\,b^2}{8f}$, während der Gegenzug des nur mit der Eigenlaft g für die Einheit belafteten Nachbarbleches $H'' = \frac{g\,b^2}{8F}$ beträgt. Nach H' könnte man nun das Blech der Dicke nach bemeffen; jedoch ergeben fich fo felbft bei flachen Pfeilen zu geringe Stärken. Die Bleche wurden früher mindeftens

Fig. 187.

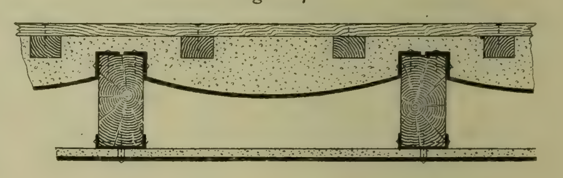
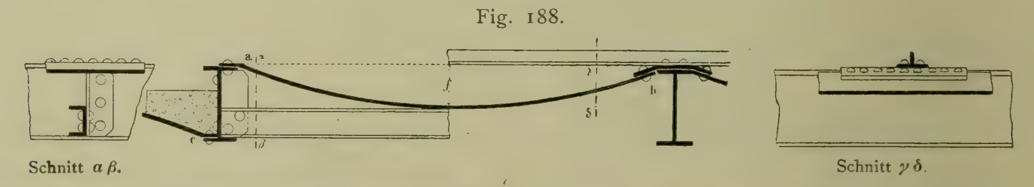
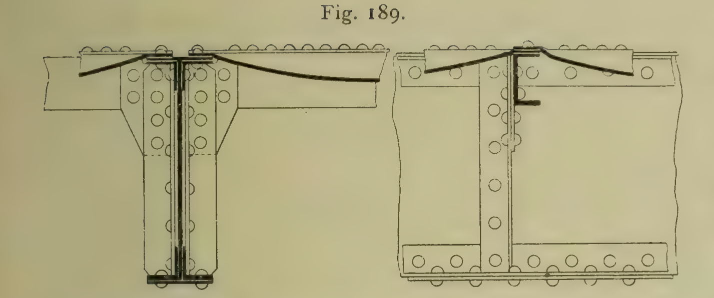


Fig. 188.



8 mm ftark gemacht; nachdem durch die Verzinkung ein guter Schutz gegen Roften gefchaffen ift, geht man bis zu 4 mm herunter. Die übrigen Abmeffungen der Bleche find ziemlich beliebig; jedoch geht man in der Gröfse der einzelnen Bleche nicht gern über 4 qm hinaus; fchmale und dünne Bleche find erheblich kleiner. Werden die Bleche, was in der Regel gefchieht, mit Beton überftampft, fo kann man deffen Druckfeftigkeit zum Ausgleiche des wagrechten Zuges der Platte ausnutzen, fo dafs

Fig. 189.



ein ſolcher nie von einem Trägerfache auf das benachbarte übertragen wird.

Die Vernietung erfolgt nach den in Theil III, Band 1 (Abth. I, Abſchn. 3, Kap. 2) dieſes »Handbuches« gegebenen Regeln, und zwar iſt der Nietberechnung für die Längeneinheit des Bleches bei der Befeſtigung nach Fig. 188 bei a die Kraft H', bei Befeſtigung nach Fig. 188 bei b die Kraft $\sqrt{H'^2 + \frac{q^2 b^2}{4}}$ zu Grunde zu legen.

94.
Fachausfüllung mit Buckelplatten.

Wenn die Balkenfache mit Buckelplatten überdeckt ſind (ſiehe Fig. 189), ſo ſind für die Stärkenabmeſſungen letzterer einfache Berechnungen wenig zuverläſſig; man beſtimmt ihre Tragfähigkeit am ſicherſten nach den Verſuchsergebniſſen, welche in der nachfolgenden Zuſammenſtellung angeführt ſind. Die Randvernietung kann ſchwächer ſein, als bei den Tonnenblechen.

Buckel-Platten von der Dillinger Hütte zu Dillingen a. d. Saar.

L = Länge, B = Breite der Platte, b = Breite des geraden Randes, h = Pfeil des Buckels (in Millim.), G das Gewicht (in Kilogr.).

Nr.	B	L	b	h	G = Gewicht für 1 Stück bei einer Blechſtärke von								
					6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10 mm
1	1490	1490	78	130	104	112,5	121,5	130	139	147,5	156,5	165,5	173,5
2	1140	1140	40	85	61	66	71	76	81	86	91	96	101
3	1098	1098	40	75	56,5	61	66	70,5	76	81	85	90	94
4	1098	1098	78	78	56,5	61	66	70,5	76	81	85	90	94
5	1000	1000	60	72	47	51	54,5	58,5	62,5	66,5	70,5	74	78
6	750	750	60	45	26,5	28,5	30,5	33	35	37	39,5	41,5	44
7	500	500	60	27	11,5	12,5	13,5	14,5	15,5	16,5	17,5	18,5	19,5
8	1630	1270	80	130	96,5	105	113	121,5	129,5	137,5	145,5	153,5	161,5
9	1100	770	55	80	39,5	43	46	49,5	53	56,5	59,5	63	76
10	1265	1265	80	100	75	81	87,5	94	100	106,5	112,5	118,5	124,5
	Millim.				Kilogr.								

Bezeichnet P die zuläſſige gleichförmig vertheilte Belaſtung von Buckelplatten von 0,9 bis 1,0 m frei tragender Länge für 1 qm, G das Gewicht für 1 qm und d die Blechdicke, ſo ergeben ſich die folgenden Zahlenbeziehungen:

d	G	P	d	G	P
2	14,8	560	5,0	38,6	3400
2,5	19,0	730	6,0	46,8	4900
3,0	23,2	1160	7,0	55,0	6300
4,0	31,0	2000	8,0	63,2	7700
Millim.	Kilogr.		Millim.	Kilogr.	

Preis der Buckelplatten etwa 280 Mark für 1000 kg einſchl. Verlegen.

95. Fachausfüllung mit Wellblech.

Das Wellblech überdeckt fchmale Räume ohne Träger (Fig. 190); über breiteren werden die Tafeln auf allen Trägern geftofsen. Das Blech wirkt alfo ftets als Träger auf zwei Stützen, und die Berechnung ift daher mit Hilfe der in den neben ftehenden Tabellen angegebenen Widerftandsmomente $\left(W = \frac{\mathfrak{J}}{e}\right)$[128] leicht durchzuführen. Die gebräuchlichen Abmeffungen der Blechtafeln gehen aus den Bemerkungen zu den Tabellen hervor.

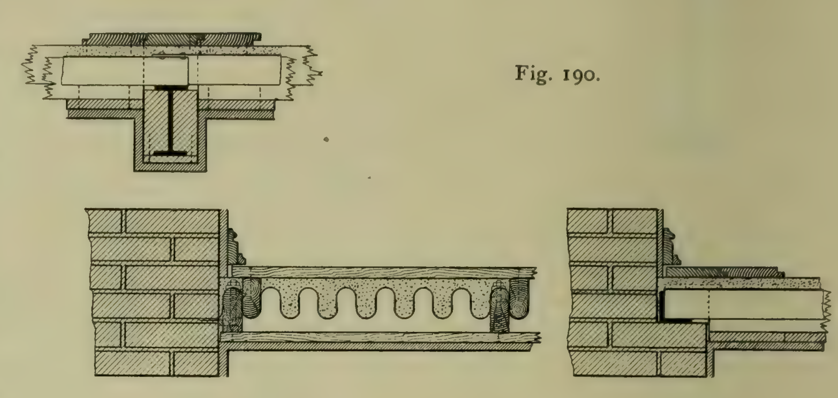


Fig. 190.

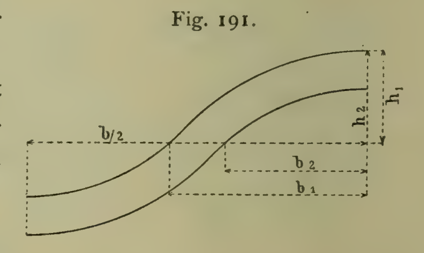
Da, wo das Widerftandsmoment einer Blechforte nur für $d = 1$ mm angegeben ift, erhält man die Widerftandsmomente anderer Blechftärken durch Veränderung der angegebenen Momentenzahl nach dem Verhältniffe der Blechftärke.

Die Längen der Tafeln werden in der Regel bis 4,0 m und die Breiten bis 1,0 m geliefert.

Die Tabellen zeigen, dafs die Widerftandsmomente, welche gröfser als 92 find, lediglich in Trägerwellblechen (fiehe S. 106) erreicht werden und dafs man alfo in einem folchen Falle zur Verwendung diefer gezwungen ift.

In Fällen, wo das erforderliche Widerftandsmoment kleiner als 90 ift, find vergleichende Rechnungen zwifchen beiden Arten zu empfehlen, da das flache Wellblech bei kleinerem Widerftandsmoment zugleich erheblich geringeres Gewicht hat, und daher unter Umftänden das leichtere Ergebnifs liefern kann.

Fig. 191.



Für beliebige flach gewellte Bleche ergiebt fich das Trägheitsmoment für die wagrechte Mittelaxe und eine Wellenbreite b nach der Formel (Fig. 191)

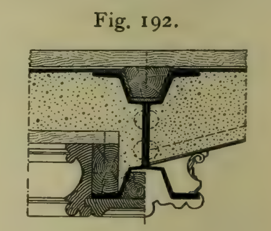
$$\mathfrak{J} = \frac{64}{105}\left(b_1 h_1^3 - b_2 h_2^3\right), \quad . \quad . \quad . \quad 30.$$

für welche die Mafse b_1, b_2, h_1 und h_2 durch Auftragen einer Viertelwelle in grofsem Mafsftabe oder auch durch Berechnung leicht zu ermitteln find.

96. Fachausfüllung mit Wellblechbogen.

Werden die Balkenfache mit Wellblechbogen oder fog. bombirtem Wellblech ausgefüllt (fiehe Fig. 192 rechts u. Fig. 193), fo find die Abmeffungen, Gewichte und Widerftandsmomente der Wellbleche den Tabellen auf S. 106 zu entnehmen.

Fig. 192.



Es bezeichne mit Bezug auf Fig. 194: b die Bogenweite (Trägertheilung), h den Pfeil der Bogenmittellinie, g das Ge-

[128]) Siehe Theil I, Band 1, zweite Hälfte (Art. 299, S. 263; 2. Aufl. Art. 89, S. 66) diefes »Handbuches«.

α) Flache Wellbleche.

Dillinger Hütte zu Dillingen a. d. Saar.

h	b	d	B	L	G	W	Freitragende Länge (in Met.) 1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
							gleichf. verth. Belaftung				
45	150	2,0	1,05	3,0	18,5	19	1140	507	285	182	127
75	230	3,0	0,92	3,0	29	52	3120	1387	780	499	347
75	230	3,5	0,92	3,0	34	60	3600	1600	900	576	400
75	230	4,0	0,92	3,0	39	67	4020	1787	1005	643	447
75	230	4,5	0,92	3,0	44	73	4380	1947	1095	701	487
75	230	5,0	0,92	3,0	49	80	4800	2133	1200	768	533
75	230	5,5	0,92	3,0	54	86	5160	2293	1290	826	573
75	230	6,0	0,92	3,0	59	92	5520	2453	1380	883	613
Millim.			Met.		Kg.		Kilogr.				

Preis des Wellbleches, einfchl. Verlegen, etwa 290 Mark für 1000 kg.

Hein, Lehmann & Co. zu Berlin.

In den Dicken von 1 bis 26 der deutfchen Lehre.

Nr.	h	b	G für 1 qm bei 1 mm Stärke	W bei 1 m Breite und 1 mm Stärke
2½/10	25	100	9,4	7,5
3/10	30	100	9,8	9,5
3½/10	35	100	10,4	12
4/10	40	100	11,1	14
4½/10	45	100	11,5	16
2½/10	25	150	8,5	7
3/15	30	150	8,8	8,5
3½/15	35	150	9,1	10
4/15	40	150	9,4	12
4½/15	45	150	9,8	14
5/15	50	150	10,2	16
	Millim.		Kilogr.	

Jacob Hilgers zu Rheinbrohl.

Nr. der deutfchen Blechlehre	d	G für 1 qm gedeckte Fläche, einfchl. Ueberdeckungen: Profil I. $b = 120$ mm $h = 25$ »	Profil II. $b = 135$ mm $h = 30$ »	Profil III. $b = 150$ mm $h = 40$ »	Profil IV. $b = 150$ mm $h = 45$ »	Profil V. $b = 76$ mm $h = 25$ »
15	1,50	14,6	14,8	15,7	16,6	16,4
16	1,33	13,4	13,6	14,5	15,2	15,0
17	1,25	12,2	12,3	13,1	13,8	13,6
18	1,13	11,0	11,1	11,9	12,4	12,3
19	1,00	9,8	9,9	10,5	11,0	10,9
20	0,88	8,5	8,6	9,2	9,7	9,6
21	0,75	7,3	7,4	7,9	8,3	8,2
	Millim.	Kilogr.				

L. Fr. Buderus, Germania bei Neuwied.

Nr.	h	b	d	G für 1 mm Dicke	L bis
Z	12	40	0,5—0,875	11	3,1
X	25	75	0,6—1,0	10,1	»
A	27	85	0,8—1,5	9,5	»
B	29	122	0,8—1,75	8,8	»
C	35	137	0,8—1,75	9,1	»
D	40	150	0,8—2	9,2	»
E	75	230	3—5	9,9	»
	Millim.			Kilogr.	Met.

Breest & Co. zu Berlin.

L bis 4 m.

Nr.	b	h	d	G	B	Nr.	b	h	d	G	B
A	200	80	4	68	0,45	C	180	60	2	30	0,55
»	»	»	3	51	»	»	»	»	1,5	22,5	»
»	»	»	2	32	»	»	»	»	1	15	»
»	»	»	1	16	»	D	180	50	1	13	0,60
B	180	70	2	32	0,55	E	150	45	1	9	0,60
»	180	70	1,5	24	»	F	90	25	1	10	0,75
»	»	»	1	16	»						
	Millim.			Kilogr.	Met.		Millim.			Kilogr.	Met.

b Breite, h Höhe einer Welle, d Dicke des Bleches (in Millim.); B und L Breite und Länge (in Met.), bis zu welcher die Bleche geliefert werden; G Gewicht (in Kilogr.) für 1 qm; W Widerftandsmoment (bezogen auf Centim.) für 1 m Breite; gröfste Beanfpruchung des Eifens 750 kg für 1 qcm. (In einigen Tabellen ift W für die Breite b einer Welle angegeben, was im Kopf der betreffenden Tabelle befonders bemerkt ift.)

β) Trägerwellbleche.

Hein, Lehmann & Co. zu Berlin.

Nr.	h	b	G für 1 qm bei 1 mm Stärke ca.	W für 1 m Breite bei 1 mm Stärke	Nr.	h	b	d	G für 1 qm bei 1 mm Stärke	W für 1 m Breite = 10 Wellen bei 1 mm Stärke
1	15	40	10,7	5,1	5a	50	100	1—2	12,5	17
2	20	40	12,6	7,6	6	60	100	1—2	14,1	25,2
3	15	50	9,8	4,7	7	70	100	1—3	15,7	33
4	25	50	12,6	9,8	8	80	100	1—5	17,3	40,5
5	30	60	12,6	11,7	9	90	100	1—5	18,9	48,4
					10	100	100	2—5	20,5	56,5
					11	110	100	2—5	22,1	68
	Millim.		Kilogr.			Millim.			Kilogr.	

L. Fr. Buderus, Germania b. Neuwied.

Nr.	h	b	d	G für 1 qm bei 1 mm Stärke	W für 1 mm Stärke und die Breite b
0	45	90	1-1½	12	1,550
I	50	90	»	13	1,835
II	55	90	»	14	2,105
III	60	90	»	15	2,440
VII	60	100	1—3	14,25	2,617
VIII	65	100	»	15	2,980
IX	70	100	2—3	15,8	3,330
X	75	100	»	16,6	3,600
XI	80	100	»	17,5	4,050
XVI	80	120	2—5	14,64	4,461
XVII	90	120	»	16,55	5,385
XVIII	100	120	»	17,50	6,383
	Millim.			Kilogr.	

Jacob Hilgers zu Rheinbrohl.

Nr. der deutschen Blechlehre	d	Gewicht für 1 qm ohne Ueberdeckung						
		Profil O. b = 90 mm h = 45 »	Profil A. b = 90 mm h = 50 »	Profil B. b = 90 mm h = 60 »	Profil C. b = 90 mm h = 70 »	Profil D. b = 100 mm h = 80 »	Profil E. b = 100 mm h = 90 «	Profil F. b = 100 mm h = 100 »
5	4	48	52	60	68	72	76	84
9	3	36	39	45	51	54	57	63
16	2	24	26	30	34	36	38	42
19	1	12	13	15	17	18	19	21
	Millim.	Kilogr.						

A. Kammerich & Co. zu Berlin.

Nr.	h	b	d	G	W für 1 m Breite	Nr.	h	b	d	G	W für 1 m Breite
1	10	20	0,5	6	1,850	19	80	100	1	17	40,500
2	15	30	1	12	5,533	20	80	100	1,5	25,5	60,400
3	20	30	1	13,5	8,800	21	80	100	2	34	80,000
4	25	40	1	13,8	10,700	22	80	100	2,5	42,5	99,600
5	30	40	1	15	14,350	23	80	100	3	51	118,600
6	45	90	1	12	17,267	24	80	100	4	68	156,500
7	45	90	1,5	18	25,633	25	90	100	2	37	96,800
8	45	90	2	24	33,844	26	90	100	2,5	46	120,630
9	50	90	1	13	20,389	27	90	100	3	55,5	144,040
10	50	90	1,5	19,5	30,355	28	90	100	4	74	190,200
11	50	90	2	26	40,089	29	100	100	2	40	115,220
12	60	90	1	15	27,166	30	100	100	3	60	171,000
13	60	90	1,5	22,5	40,533	31	100	100	4	80	225,800
14	60	90	2	30	53,610	32	100	100	5	100	279,800
15	70	90	1	16	34,777	33	100	130	2	33	98,338
16	70	90	1,5	24	51,888	34	100	130	3	49,5	146,169
17	70	90	2	32	68,722	35	100	130	4	66	193,161
18	70	90	2,5	40	85,366	36	100	130	5	82,5	239,400
	Millim.			kg			Millim.			kg	

Pfeiffer & Druckenmüller zu Berlin.

Nr.	h	b	d	G	W für 1 m Breite	Nr.	h	b	d	G	W für 1 m Breite
DE 8	70	90	2	32	68,000	E 4	60	90	1	15	26,600
» 6	70	90	1,5	24	51,100	F 4	50	90	1	13	21,000
» 4	70	90	1	16	34,300	G 4	45	90	1	12	17,000
E 8	60	90	2	30	53,000	» 3	45	90	0,75	9-10	12,750
» 6	60	90	1,5	23	36,900						
1	50	100	1	12	17,000	18	80	100	3	52	120,000
2	60	100	1	14	25,200	19	90	100	3	55	144,000
3	70	100	1	16	33,000	20	120	100	2	47	152,500
4	60	100	1½	21	37,800	21	80	100	4	71	160,000
5	80	100	1	17	40,000	22	100	100	3	61	169,200
6	90	100	1	18	48,000	23	90	100	4	76	182,000
7	60	100	2	29	50,400	24	140	100	2	52	199,600
8	70	100	1½	23,5	50,500	25	80	100	5	90	200,000
9	100	100	1	20	56,400	26	100	100	4	81	225,600
10	80	100	1½	25,5	60,000	27	120	100	3	70	228,800
11	70	100	2	31	67,000	28	90	100	5	96	230,000
12	90	100	1½	28	72,000	29	100	100	5	101	282,000
13	80	100	2	35	80,000	30	140	100	3	78	299,400
14	100	100	1½	30	84,600	31	120	100	4	94	305,000
15	90	100	2	38	96,000	32	120	100	5	118	381,000
16	70	100	3	48	101,100	33	140	100	4	106	399,200
17	100	100	2	40	112,800	34	140	100	5	133	499,000
	Millim.			kg			Millim.			kg	

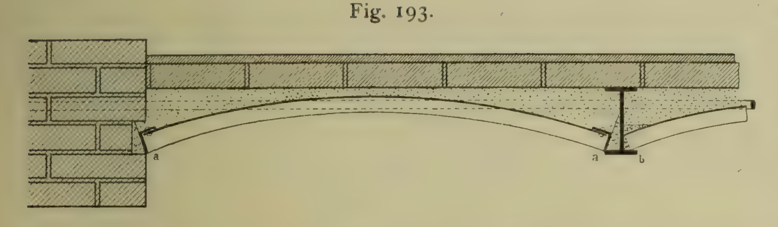
L. Bernhard & Co. zu Berlin.

Nr.	h	b	d	G	W für 1 m Breite	Nr.	h	b	d	G	W für 1 m Breite
1	20	30	1	13,4	7,800	17	100	120	2	33	98,208
2	30	44	1	13,9	12,181	18	101	120	3	50	146,550
3	50	90	1	12,5	19,355	19	102	120	4	67	194,258
4	50,5	90	1,5	18,7	28,989	20	103	120	5	84	241,600
5	60	90	1	14	25,966	21	120	140	3	50	176,986
6	60,5	90	1,5	21,1	39,289	22	121	140	4	63	235,393
7	61	90	2	28,4	51,333	23	122	140	5	84,7	292,985
8	70	90	1	15,6	33,344	24	123	140	6	102,5	350,085
9	71	90	2	31,6	66,111	25	150	160	3	54,2	237,569
10	72	90	3	48	98,378	26	151	160	4	72,6	315,556
11	80	100	1	16	39,070	27	152	160	5	91,2	393,075
12	81	100	2	32,4	77,410	28	153	160	6	109	470,000
13	82	100	3	49	114,910	29	200	200	3	57,4	338,440
14	90	100	2	35	92,210	30	201	200	4	77	443,215
15	91	100	3	53	137,110	31	202	200	5	96,5	554,935
16	92	100	4	71	182,400	32	203	200	6	116,3	664,045
	Millim.			kg			Millim.			kg	

Breeſt & Co. zu Berlin.

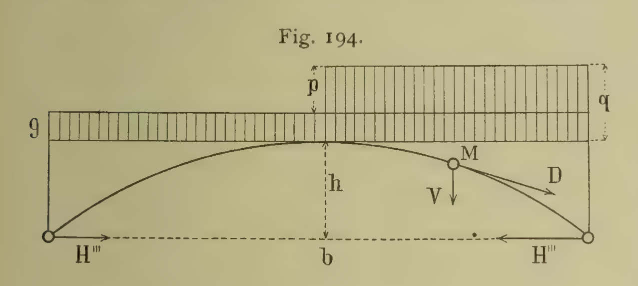
Nr.	h	b	d	G	W für 1 m Breite	Nr.	h	b	d	G	W für 1 m Breite
1	100	130	4	66	244,00	2	80	110	1	16	40,14
»	100	130	3	49	183,00	3	70	90	2	34	60,68
»	100	130	2	33	122,00	»	70	90	1,5	25,5	45,49
1a	100	100	3	61	169,20	»	70	90	1	17	30,30
»	100	100	2	40	112,80	4	60	90	2	30	47,71
1b	90	100	2	37	96,80	»	60	90	1,5	22,5	35,67
»	90	100	1,5	27,5	73,00	»	60	90	1	15	23,61
2	80	110	4	63	160,56	5	50	90	1	13	17,61
»	80	110	3	47	120,42	6	45	90	1	12	14,87
»	80	110	2	32	80,32	7	30	90	1	15,5	6,02
»	80	110	1,5	24	60,26	8	20	90	1	14,5	2,74
	Millim.			kg			Millim.			kg	

Fig. 193.



wicht des Bleches, der Ueberfüllung und des Fufsbodens für die Flächeneinheit, p die Nutzlaft für die Flächeneinheit, $q = p + g$ die Gefammtlaft für die Flächeneinheit, M das ungünftigfte Biegungsmoment bei einfeitiger Belaftung, H' den wagrechten Bogenfchub bei voller Belaftung, H'' den gröfstmöglichen Gegenfchub des unbelafteten Bogens, H''' den von der ungünftigften einfeitigen Belaftung erzeugten Bogenfchub, V die lothrechte Scherkraft im Querfchnitte des gröfsten Biegungsmomentes bei ungünftigfter einfeitiger Belaftung, D den winkelrechten Druck auf den Querfchnitt des gröfsten Biegungsmomentes bei ungünftigfter einfeitiger Belaftung und s die zuläffige gröfste Beanfpruchung auf 1 qcm des Blechquerfchnittes. Alsdann ift

Fig. 194.



$$H' = \frac{q\,b^2}{8\,h}; \qquad 31.$$

$$M = 0{,}01615\,p\,b^2; \qquad 32.$$

$$H''' = \frac{(g + 0{,}6\,p)\,b^2}{8\,h}; \qquad 33.$$

$$V = (0{,}2676\,g + 0{,}16\,p)\,b; \qquad 34.$$

$$D = \sqrt{H'''^2 + V^2}; \qquad 35.$$

$$H'' = \frac{s + \frac{g\,b^2}{8} \cdot \frac{e}{\mathcal{J}}}{\frac{1}{F} + h\,\frac{e}{\mathcal{J}}}. \qquad 36.$$

In diefen Gleichungen bedeutet F den Querfchnitt des Bleches und $\frac{\mathcal{J}}{e} = W$ das Widerftandsmoment des Querfchnittes, welche aus den Tabellen auf S. 105 u. 106 zu entnehmen oder aus Gleichung 30 durch Divifion von $\mathcal{J}$ mit der halben Blechhöhe zu berechnen ift.

Die gröfste im Bleche vorkommende Beanfpruchung ift

$$\sigma_1 = \frac{M\,e}{\mathcal{J}} + \frac{D}{F} \text{ (Druck)} \qquad 37.$$

$$\sigma_2 = \frac{M\,e}{\mathcal{J}} - \frac{D}{F} \text{ (Zug)} \qquad 38.$$

Wird der Wellblechbogen, wie zu empfehlen, mit magerem Beton überftampft, fo kann man als Gegenfchub des unbelafteten Bogens die Summe der Werthe annehmen, welche fich aus Gleichung 5 u. 36 für die vorliegenden Mafse und zuläffigen Beanfpruchungen ergeben; jedoch darf felbftverftändlich auch hier der Gegenfchub

des unbelafteten Bogens höchftens gleich dem Schube H' (Gleichung 31) des belafteten Bogens gefetzt werden.

Beifpiel. Ein ($b =$) 3,0 m weiter Bogen von ($h =$) 0,25 m Pfeil ift mit magerem Backftein-Beton durchfchnittlich 0,23 m hoch überfchüttet und trägt 0,025 m Cement-Eftrich. Der erftere wiegt 1600 kg, der letztere 2500 kg für 1 cbm; alfo ift $g = 0{,}23 \cdot 1600 + 0{,}025 \cdot 2500 = 431$ kg, und mit dem Gewichte des Bleches wird $g = 450$ kg gefetzt. Die Nutzlaft beträgt ($p =$) 700 kg für 1 qm. Es ift dann nach Gleichung 31

$$H' = \frac{(700 + 450)\,3^2}{8 \cdot 0{,}25} = 5175 \text{ kg};$$

nach Gleichung 32

$$M = 0{,}01615 \cdot 700 \cdot 3^2 = 101{,}75 \text{ mkg};$$

ferner nach Gleichung 33

$$H''' = \frac{(450 + 0{,}6 \cdot 700)\,3^2}{8 \cdot 0{,}25} = 3915 \text{ kg};$$

weiter nach Gleichung 34

$$V = (0{,}2676 \cdot 450 + 0{,}16 \cdot 700)\,3 = 696 \text{ kg};$$

endlich nach Gleichung 35

$$D = \sqrt{696^2 + 3915^2} = 3976 \text{ kg}.$$

Wird nun Trägerwellblech von *Hein, Lehmann & Co.* Nr. 6 (fiehe die betreffende Tabelle auf S. 106) unterfucht, fo ift für diefes bei 1 mm Stärke für Meter als Einheit $\frac{J}{e} = W = \frac{25{,}2}{100 \cdot 100 \cdot 100} = 0{,}0000252$. Der Querfchnitt für 1 m Breite ergiebt fich bei dem Eifengewichte von 7800 kg für 1 cbm aus dem Blechgewichte von 14,1 kg für 1 qm mit $\frac{14{,}1}{7800} = 0{,}0018$ qm.

Nach Gleichung 37 ift demnach der gröfste Druck

$$\sigma_1 = \frac{101{,}75}{0{,}0000252} + \frac{3976}{0{,}0018} = 6\,247\,200 \text{ kg auf 1 qm},$$

und nach Gleichung 38 der gröfste Zug

$$\sigma_2 = \frac{101{,}75}{0{,}0000252} - \frac{3976}{0{,}0018} = 1\,828\,200 \text{ kg auf 1 qm}.$$

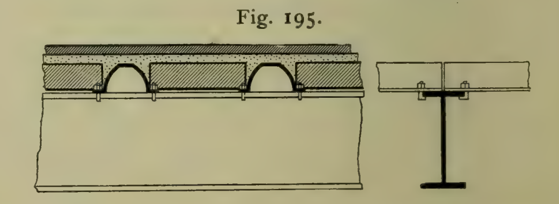
Wegen der ftarken Spannungsfchwankung in einer und derfelben Fafer ift das Blech trotz der niedrigen Beanfpruchung nicht als zu ftark zu bezeichnen. Der gröfstmögliche Gegenfchub des Blechbogens ift nach Gleichung 36

$$H'' = \frac{7\,000\,000 + \dfrac{450 \cdot 3^2}{8 \cdot 0{,}0000252}}{\dfrac{1}{0{,}0018} + \dfrac{0{,}25}{0{,}0000252}} = 2490 \text{ kg für 1 m Länge.}$$

97. Fachausfüllung mit Belageifen.

Sollen die Balkenfache mit Belageifen ausgefüllt werden (Fig. 195), fo werden letztere zweckmäfsig auf allen Trägern geftofsen, damit aus der Continuität nicht Ueberlaftungen einzelner Träger entftehen. Will man jedoch die Vortheile der Continuität für die Belageifen ausnutzen, fo mufs man die Träger den vergröfserten Auflagerdrücken des continuirlichen Belageifens entfprechend bemeffen. In der Regel ift es alfo nur nöthig, das Gewicht der Ueberfüllung genau zu ermitteln und nach diefem, fo wie der Nutzlaft die Belageifen als Träger auf zwei Stützen zu berechnen. Für die Zwecke des Hochbaues wird es in faft allen Fällen genügen, zur Deckung der Zwifchenräume zwifchen den Belageifen quer oder höchftens lang gelegte Flachziegel zu verwenden. Sicherer ift die Ausfüllung mit Beton, wobei man jedoch zum Einbringen kleiner Schalungen zwifchen den Belageifen bedarf.

Fig. 195.



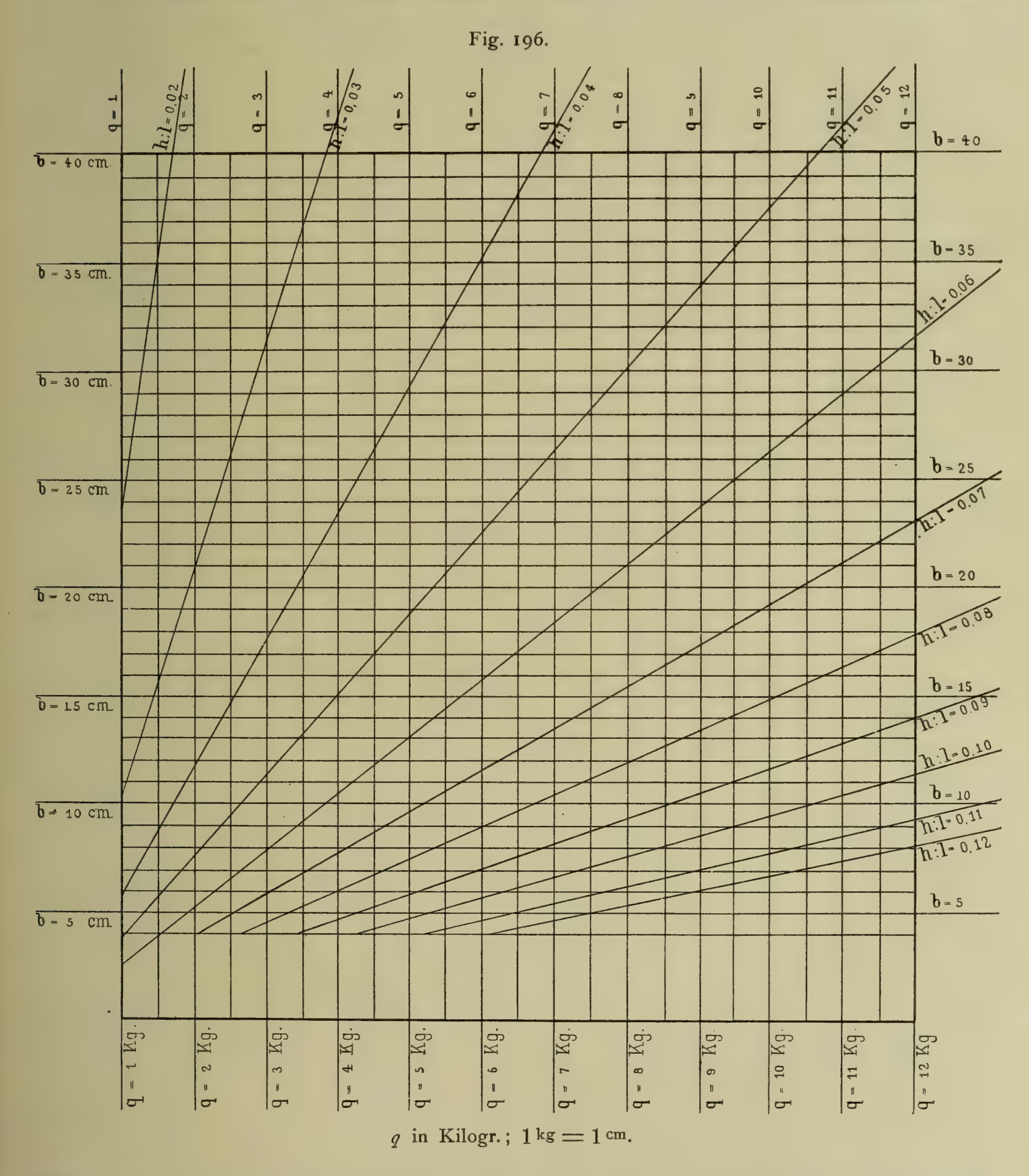
3) Querfchnittsermittelung für Balken und Träger.

98. Hölzerne Balken.

Holzbalken haben ausfchliefslich rechteckigen Querfchnitt, und zwar — mit Rückficht auf vortheilhaftefte Gewinnung aus dem runden Stamme — des Seitenverhältniffes 5 : 7 [129]).

Die Berechnung [130]) erfolgt etwas zu ficher für die gröfste Stützweite jedes

Fig. 196.



q in Kilogr.; 1 kg = 1 cm.

Balkens bei 80 kg zuläffiger Beanfpruchung als Träger auf zwei Stützen. Alle hierher gehörenden Berechnungen können durch Benutzung der Auftragung in Fig. 196 um-

[129]) Siehe Theil III, Band 1 (Art. 156, S. 110; 2. Aufl.: Art. 15 , S. 114) diefes »Handbuches«.

[130]) Angaben über die Eigengewichte hölzerner Balken finden fich in einer Tabelle in Theil I, Band 1, zweite Hälfte (S. 318; 2. Aufl.: S. 17) diefes »Handbuches«.

gangen werden [131]). Es bezeichnet dort b die Breite, l die gröfste Stützweite, h die Höhe eines Balkens (in Centim.) und q die Gefammtbelaftung für 1 lauf. Centim.

Beifpiel 1. Ein Balken ift für 5,5 m Stützweite bei 1,05 m Fachtheilung zu berechnen; die Eigenlaft der Decke (halber Windelboden) beträgt 300 kg und die Nutzlaft 250 kg für 1 qm. Die Laft für 1 cm ift demnach $q = \frac{1{,}05\,(300 + 250)}{100} = 5{,}8$ kg. Wird die Breite verfuchsweife mit 22 cm angenommen, fo führen die Coordinaten $q = 5{,}8$ und $b = 22$ zu der fchrägen Transverfalen $h : l = 0{,}05$, und es mufs alfo $h = 0{,}05 \cdot 550 = 27{,}5$ cm fein, ein geeignetes Verhältnifs. Hätte fich eine ungeeignet erfcheinende Höhe ergeben, fo hätte man ohne Mühe durch Aenderung der Ordinate b ein befferes Verhältnifs finden können.

Beifpiel 2. Eine Decke, welche im Ganzen 400 kg auf 1 qm zu tragen hat, foll bei 4,5 m Stützweite aus Balken von $b = 20$ und $h = 25$ cm hergeftellt werden; wie darf die Balkentheilung gewählt werden? Es ift $h : l = \frac{25}{450} = 0{,}056$. Man fuche den Schnitt der Transverfalen $0{,}056 = h : l$ mit der Wagrechten durch $b = 20$ cm; alsdann fchneidet diefer die Abfciffe $q = 6{,}5$ kg ab, und die zuläffige Balkentheilung d folgt dann aus $\frac{d \cdot 400}{100} = 6{,}5$ mit $d = 1{,}625$ m.

Beifpiel 3. Wie weit kann fich ein Balken von $b = 15$ und $h = 25$ cm bei 1,1 m Fachtheilung unter 500 kg Belaftung für 1 qm frei tragen? Es ift $q = \frac{1{,}1 \cdot 500}{100} = 5{,}5$ kg; die Coordinaten $q = 5{,}5$ und $b = 15$ geben die Transverfale $h : l = 0{,}058$; alfo kann $l = \frac{25}{0{,}058} = 430$ cm fein.

Eine bequeme Formel zur Berechnung von Holzbalken ift die folgende. Es bezeichnet q die Gefammtlaft für 1 qm Deckenfläche (in Kilogr.), b die Breite und h die Höhe eines Balkens (in Centim.), d die Theilung der Balken von Mitte zu Mitte (in Centim.), l die Stützweite des Balkens. Alsdann findet ftatt

$$h = 0{,}000968\ l \sqrt{q \frac{d}{b}}, \qquad \text{39.}$$

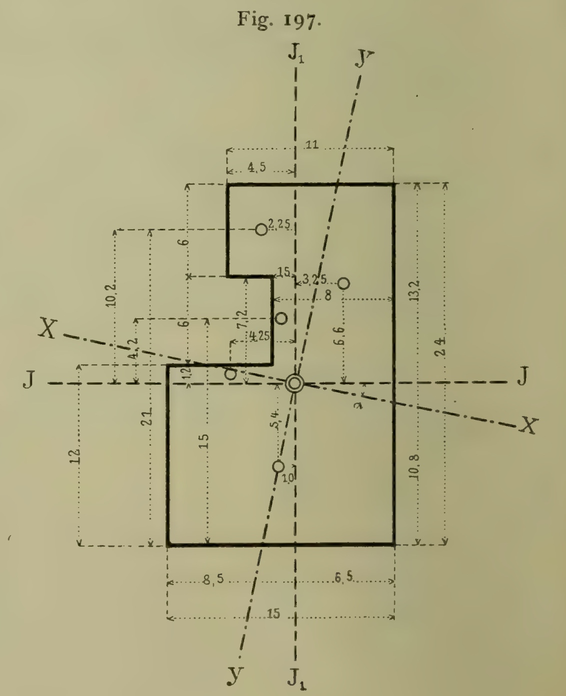
worin für gewöhnliche Verhältniffe $\frac{d}{b}$ zwifchen 5 und 6 liegen wird.

Beifpiel. Soll eine Decke aus 5 m frei tragenden Balken auf 1 qm 500 kg tragen, und wird zunächft $\frac{d}{b} = 5$ angenommen, fo ift

$$h = 0{,}000968 \cdot 500 \sqrt{500 \cdot 5} = 24{,}2 \text{ cm}$$

zu machen. Dabei kann dann nach Belieben, entfprechend $\frac{d}{b} = 5$, $d = 100$ cm und $b = 20$ cm oder $d = 90$ cm und $b = 18$ cm oder $d = 80$ cm und $b = 16$ cm gewählt werden.

Fig. 197.



Hiernach bleibt nur noch anzugeben, wie die Spannungen in einem durch den Bruftzapfen eines Wechfels gefchwächten Balkenquerfchnitte zu ermitteln find. Es foll dies gleich an einem Beifpiele vorgeführt werden, welches die Auflagerung des mit *5* bezeichneten ausgewechfelten Balkens der Gruppe *A* in Fig. 37 (S. 30) auf den Wechfel an der Wand zum Gegenftande hat.

[131]) Vergl. auch: GARTEN. Diagramm zur Beftimmung der Querfchnitte hölzerner Balken. Deutfche Bauz. 1887, S. 342.

Die Decke hat 400 kg zu tragen und 0,75 m Balkentheilung; alfo ift $q = 3$ kg und bei $b = 15$ cm, $l = 5{,}45$ m ergiebt die Auftragung in Fig. 196 $h : l = 0{,}043$, alfo $h = 0{,}043 \cdot 545 = 23{,}5$ = rund 24 cm. Der Wechfel foll aus einem Abfchnitte deffelben Holzes hergeftellt werden. Die Laft, welche er vom Balken in feiner Mitte erhält, ift $545 \cdot 3 \cdot \frac{1}{2}$ = rund 820 kg; feine Stützweite von Balkenmitte bis Balkenmitte beträgt $2 \cdot 75 = 150$ cm, folglich das Angriffsmoment $M = \frac{820}{2} \cdot \frac{150}{2} = 30\,750$ cmkg.

Der Bruftzapfen im Wechfel wird nach Fig. 197 ausgeführt. Vom bleibenden Querfchnitte ift zuerft der Schwerpunkt zu fuchen. Diefer fteht ab

von der Unterkante: $\frac{11 \cdot 6 \cdot 21 + 8 \cdot 6 \cdot 15 + 12 \cdot 15 \cdot 6}{11 \cdot 6 + 8 \cdot 6 + 12 \cdot 15} = 10{,}8$ cm;

von der rechten Kante: $\frac{11 \cdot 6 \cdot 5{,}5 + 8 \cdot 6 \cdot 4 + 12 \cdot 15 \cdot 7{,}5}{11 \cdot 6 + 8 \cdot 6 + 12 \cdot 15} = 6{,}5$ cm.

Demnach ift das Trägheitsmoment für die wagrechte Schwerpunktsaxe

$$\mathcal{J} = 11 \frac{13{,}2^3 - 7{,}2^3}{3} + 8 \frac{7{,}2^3 - 1{,}2^3}{3} + 15 \frac{1{,}2^3 + 10{,}8^3}{3} = 14\,360;$$

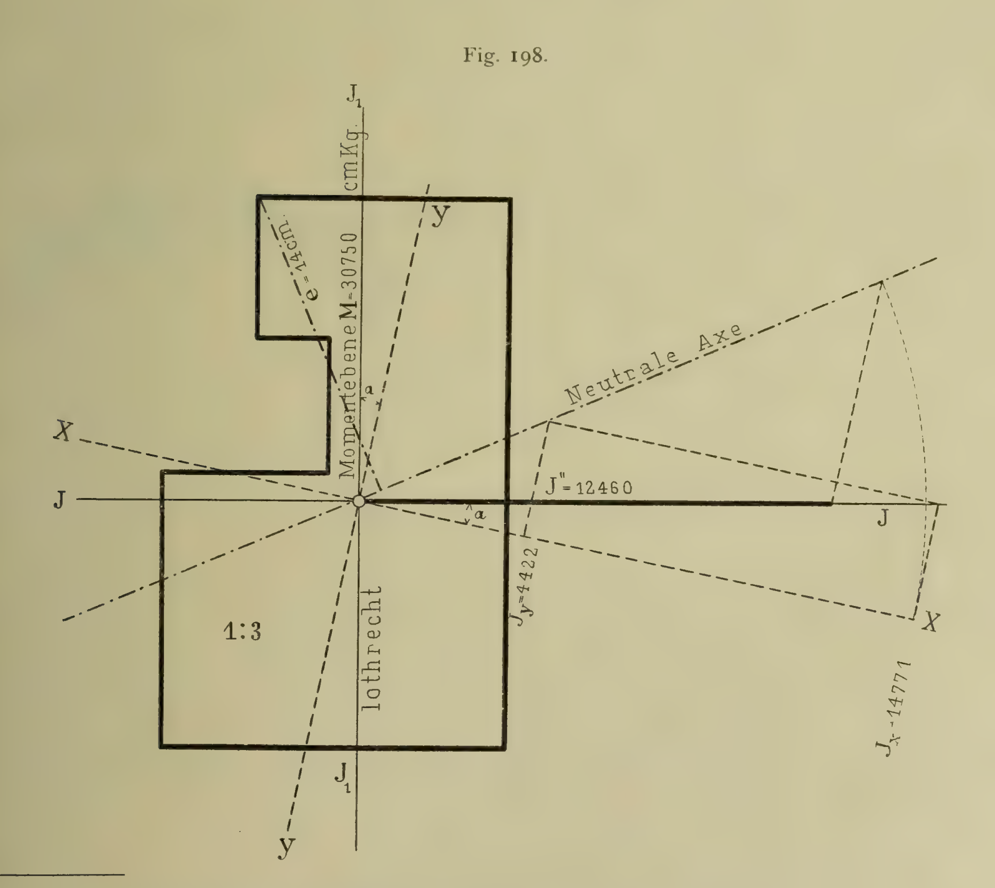
für die lothrechte Schwerpunktsaxe

$$\mathcal{J}_1 = 12 \frac{6{,}5^3 + 8{,}5^3}{3} + 6 \frac{1{,}5^3 + 6{,}5^3 + 4{,}5^3 + 6{,}5^3}{3} = 4842.$$

Das Centrifugalmoment H[132]) ift

$$H = 13{,}2 \cdot 6{,}5 \cdot 3{,}25 \cdot 6{,}6 - 6 \cdot 4{,}5 \cdot 2{,}25 \cdot 10{,}2 - 6 \cdot 1{,}5 \cdot 4{,}2 \frac{1{,}5}{2} - 1{,}2 \cdot 8{,}5 \cdot 4{,}25 \frac{1{,}2}{2}$$
$$+ 15 \cdot 10{,}8 \cdot 1{,}0 \cdot 5{,}4 = + 2044.$$

Fig. 198.



132) Vergl. Theil I, Band 1, zweite Hälfte (S. 269; 2. Aufl.: S. 39) diefes »Handbuches«.

Demnach folgt der Winkel α, welchen die erſte Trägheitshauptaxe X mit der Axe J bildet [133]) aus

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2 \cdot 2044}{4842 - 14360} = \frac{2H}{J_1 - J}.$$

Daraus ergiebt ſich $\alpha = -11^0 37' 21''$, ferner

$$\sin 2\alpha = -0{,}3946\,, \quad \sin^2\alpha = 0{,}0406\,, \quad \cos^2\alpha = 0{,}9594,$$

und ſchlieſslich [134])

$$J_x = J\cos^2\alpha + J_1 \sin^2\alpha - H \sin 2\alpha = 14360 \cdot 0{,}9594 + 4842 \cdot 0{,}0406 + 2044 \cdot 0{,}3946 = 14771\,,$$
$$J_y = J\sin^2\alpha + J_1 \cos^2\alpha + H \sin 2\alpha = 14360 \cdot 0{,}0406 + 4842 \cdot 0{,}9594 + 2044 \cdot 0{,}3946 = 4422.$$

In Fig. 198 iſt auf Grund dieſer Werthe die Berechnung der gröſsten Spannung der gefährdetſten Ecke am Bruſtzapfen durchgeführt.

Die neutrale Axe ergiebt ſich, wenn man die Ebene J (Fig. 198) (hier wagrecht) mit dem Winkel α gegen die X-Axe feſt legt, um den die Momentebene (hier lothrecht) von der Y-Axe abſteht, dann vom Schwerpunkte aus $J_x = 14771$ und $J_y = 4422$ in irgend einem Maſsſtabe auf der X-Axe abſetzt und in beiden Punkten die Winkelrechte zur X-Axe zieht. Trägt man dann den Abſchnitt auf der Winkelrechten in J_x im Winkel α auf der Winkelrechten in J_y auf und verbindet dieſen Punkt mit dem Schwerpunkte, ſo erhält man die neutrale Axe.

Man beſtimme nun den Abſtand e des am entfernteſten von der neutralen Axe liegenden Punktes (Fig. 198), hier $e = 14^{cm}$, übertrage J_x auf die neutrale Axe und ziehe von da die Winkelrechte zur X-Axe; dieſe ſchneidet auf der den Winkel α mit der X-Axe einſchlieſsenden Geraden J dann einen Werth J'' (hier $J'' = 12460$) ab, welcher mit e und M die ungünſtigſte Spannung nach der Gleichung

$$\sigma = \frac{Me}{J} = \frac{30750 \cdot 14}{12460} = 34{,}5^{kg} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 40.$$

ergiebt. Der Wechſel iſt alſo trotz der Schwächung reichlich ſtark. Hierbei iſt das Verdrehungsmoment, welches ſich aus der Lagerung des Balkenendes auſserhalb des Schwerpunktes ergiebt, vernachläſſigt.

Nach dieſem Verfahren laſſen ſich alle geſchwächten Balken behandeln, mag die übrig bleibende Querſchnittsform ſein, welche ſie will. Auch wenn der Balken bei der Auswölbung nach Fig. 199 und Belaſtung nur einer der anſchlieſsenden Kappen neben den Laſten durch wagrechte Kräfte beanſprucht wird, iſt daſſelbe Verfahren am Platze; derartige Fälle werden bei der Auswölbung eiſerner Träger ausführlich behandelt werden.

Fig. 199.

99.
Eiſerne
Träger.

Eiſerne Träger werden in den Hochbau immer mehr als Erſatz für die Holzbalken eingeführt.

Eine für gewöhnliche Fälle häufig verwendete Trägerform iſt die alte Eiſenbahnſchiene, welche ſich durch beſonders niedrigen Preis empfiehlt. Das Widerſtandsmoment $\frac{J}{e}$ abgenutzter neuerer Profile von der Höhe h (in Centim.) kann $\frac{J}{e} = 0{,}06\, h^3$ geſetzt werden. Der Vortheil der Billigkeit wird jedoch zum Theile dadurch aufgehoben, daſs man das oft ſehr beſchädigte Eiſen nicht ſo hoch beanſpruchen darf, wie neue Träger, und zwar höchſtens mit 700^{kg} für 1^{qcm}.

Für gute Ausführungen iſt wegen der Unſicherheit des Materials in alten Schienen die Verwendung neuer Träger zu empfehlen. Faſt ausſchlieſslich kommen hier **I**-Träger, ſonſt von gewalzten Trägern **Z**- und **C**-Profile [135]), dann zuſammengeſetzte Blech- und Gitterträger [136]) und ſchlieſslich beſondere Trägerformen für be-

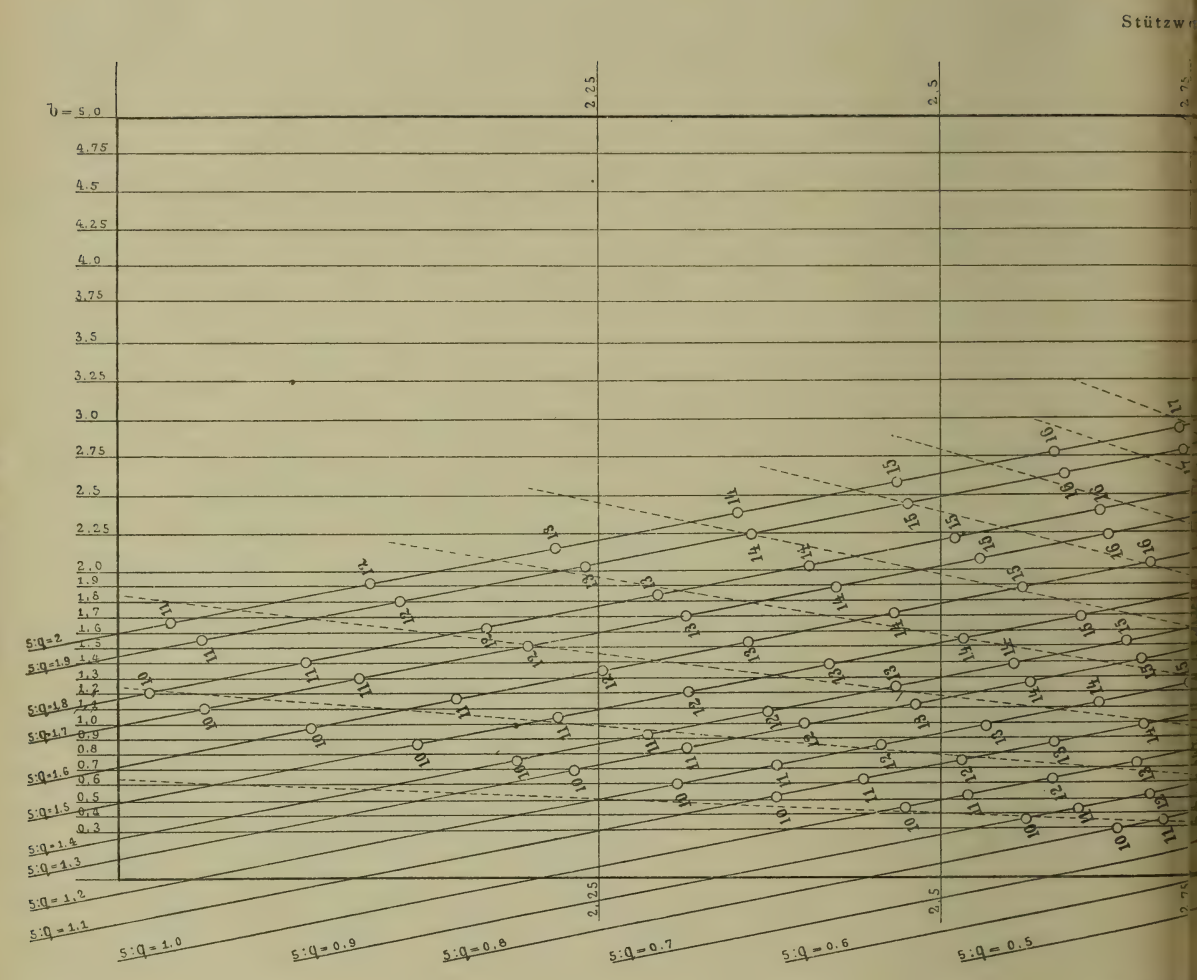
133) Nach Gleichung 46, S. 269 (2. Aufl.: Gleichung 24, S. 39) ebendaſ.

134) Nach Gleichung 45, S. 269 (2. Aufl.: Gleichung 22, S. 39) ebendaſ.

135) Siehe die betreffenden Tabellen in Theil I, Band 1, erſte Hälfte (S. 197 u. 198) dieſes »Handbuches«.

136) Siehe Theil III, Band 1 (Abth. I, Abſchn. 3, Kap. 7) dieſes »Handbuches«.





Zeichnerifche Darftel

für die Unterfuchung ihrer Trag



n Met.

Met.

er Normal-I-Eifen

eit unter lothrechter Belaftung.



Fig. 200.

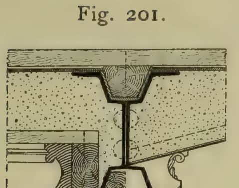


Fig. 201.

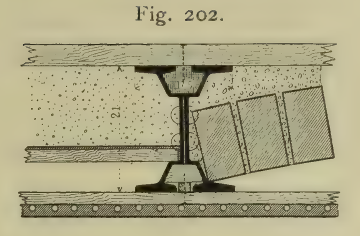


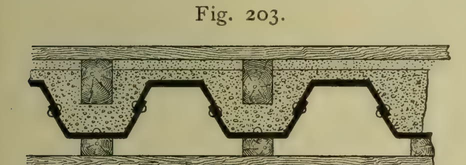
Fig. 202.

ftimmte Zwecke, namentlich Erzielung gröfserer Seitenfteifigkeit, wie der von *Gocht* (Fig. 200), der von *Klette* (Fig. 201 u. 202) und der mit *Lindfay*-Eifen (Fig. 203 u. 204) unten oder oben und unten verftärkte I-Träger zur Verwendung.

100. Berechnung lothrecht belafteter Träger.

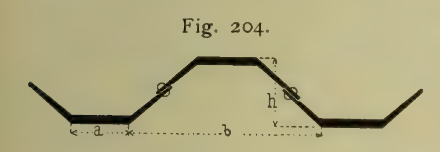
Sind die Träger nur lothrecht belaftet, fo find die gröfsten Biegungsmomente für die nach dem früher Gefagten meift verwendeten Träger auf zwei Stützen leicht zu ermitteln.

Fig. 203.



Die deutfchen Normal-Profile für I-Eifen können mit Hilfe der neben ftehenden Tafel berechnet werden. In derfelben bedeutet b die Theilung der Deckenträger (in Met.), l die Stützweite (in Met.), g die gefammte Deckenbelaftung für 1 qm (in Kilogr.) und s die zuläffige Beanfpruchung des Trägerquerfchnittes (in Kilogr. auf 1 qcm). Die Coordinaten l und b führen durch ihren Schnittpunkt zu oder in die Nähe einer der punktirten fchrägen Leitlinien, die man bis zum Schnitte mit derjenigen ausgezogenen, von rechts nach links fallenden, fchrägen Transverfalen verfolge, welche zu dem dem vorliegenden Falle entfprechenden Verhältniffe $s:q$ gehört. Die Nummer der kleinen Null, welche auf der ausgezogenen Transverfalen $s:q$ zunächft rechts von der geftrichelten Leitlinie liegt, ift diejenige des zu verwendenden I-Normal-Profiles [137]).

Fig. 204.



Beifpiel 1. Es foll der dem Beifpiele in Art. 96 (S. 108) für Wellblechbogen entfprechende Träger, vorläufig ohne Rückficht auf die feitlichen Beanfpruchungen, ermittelt werden, und zwar für 5,3 m Stützweite. Es war $q = p + g = 1150$ kg; die Weite der Fache $b = 3{,}0$ m; die zuläffige Beanfpruchung fei $s = 1100$ kg für 1 qcm; alfo $s : q = 1100 : 1150 = 0{,}95$.

Verfolgt man in der neben ftehenden Tafel die dem Coordinatenfchnitte $l = 5{,}3$ und $b = 3$ nächft liegende geftrichelte Leitlinie bis zu der $s : q = 0{,}95$ entfprechenden (zu interpolirenden) Transverfalen, fo liegt auf letzterer zunächft rechts von der Leitlinie der dem Querfchnitte Nr. 36 entfprechende kleine Kreis; der Querfchnitt diefer Nummer ift zu verwenden. Diefer Träger bedarf jedoch noch der Prüfung auf Widerftandsfähigkeit gegen feitliche Beanfpruchung, welche für einen ähnlichen Fall weiter unten durchgeführt wird.

Beifpiel 2. Das Eigengewicht einer 6 m frei tragenden, mit Beton ausgewölbten Decke beträgt 400 kg und die Nutzlaft 400 kg für 1 qm; demnach ift $q = 800$ kg. Wie weit dürfen Träger des Profils Nr. 28 aus einander gelegt werden, wenn die Beanfpruchung für 1 qcm 1000 kg betragen foll?

Es ift $s : q = 1000 : 800 = 1{,}25$. Die geftrichelte Leitlinie, welche zunächft links von Nr. 28 auf der Transverfalen $s : q = 1{,}25$ feft gelegt wird, fchneidet die Abfciffe $l = 6{,}0$ m bei der Ordinate $b = 1{,}54$ m; fo weit dürfen die Träger alfo von einander entfernt liegen.

Beifpiel 3. Wie weit können fich 1,0 m von einander liegende Träger Nr. 26 bei 1050 kg Beanfpruchung unter 900 kg Nutzlaft für 1 qm frei tragen?

Es ift $s : q = 1050 : 900 = 1{,}18$. Die $s : q = 1{,}18$ und Nr. 26 entfprechende geftrichelte Leitlinie fchneidet auf der Ordinate $b = 1{,}0$ die Abfciffe $l = 6{,}6$ m ab.

137) Siehe die betreffende Tabelle in Theil I, Band 1, erfte Hälfte (S. 198) diefes »Handbuches«.

Bei diefen Berechnungen mittels der vorftehenden Tafel kann die Eifenbahnfchiene von 13 cm Höhe bezüglich des Widerftandsmomentes dem Normal-Profil Nr. 17 gleich gefetzt werden. Ihre Beanfpruchung foll jedoch nur 700 kg für 1 qcm betragen, während man diejenige neuer Träger unter ftark bewegten Laften bis 1000 kg, unter mäfsig bewegten bis 1200 kg, unter ganz ruhenden, ftetigen Laften bis 1500 kg für 1 qcm fteigern kann. Nur bei grofsen Profilen, etwa von Nr. 40 an, empfiehlt fich eine um 15 Procent ermäfsigte Annahme der Spannungen.

Ueber die Berechnung der Blech- und der Gitterträger ift in Theil III, Band 1 (Abth. I, Abfchn. 1, Kap. 7) das Erforderliche zu finden.

101.
Berechnung von Trägern mit Seitenfchüben.

Wenn die Träger auch wagrechten Kräften ausgefetzt find [138]), fo entftehen vorwiegend aus den Schüben von Auswölbungen und Wellblechbogen, fo wie aus den Zügen von Tonnenblechen, welche fich bei Belaftung nur eines anfchliefsenden Faches nicht vollkommen ausgleichen, fondern einen nach der Seite des unbelafteten Faches gerichteten Schub von der Gröfse $H' - H''$ (vergl. die Gleichungen 4 u. 5 [S. 96], 8 u. 9 [S. 97], 27 [S. 101], 29 [S. 102], 31 u. 36 [S. 107]), bezw. einen nach der Seite des belafteten Faches gerichteten Zug von der Gröfse $H' - H'' = \frac{(q-g)\,b^2}{8h}$ (vergl. Art. 93, S. 102) ergeben, fchräge Belaftungen der Träger, welche diefe ganz befonders ungünftig beanfpruchen.

Beifpiel. Als Beifpiel follen hier die Träger einer Decke nach Fig. 205, bezw. 206 durchgerechnet werden. Für die Fachfüllung kommt Gleichung 6 (S. 97) zur Anwendung. Es fei die Länge der

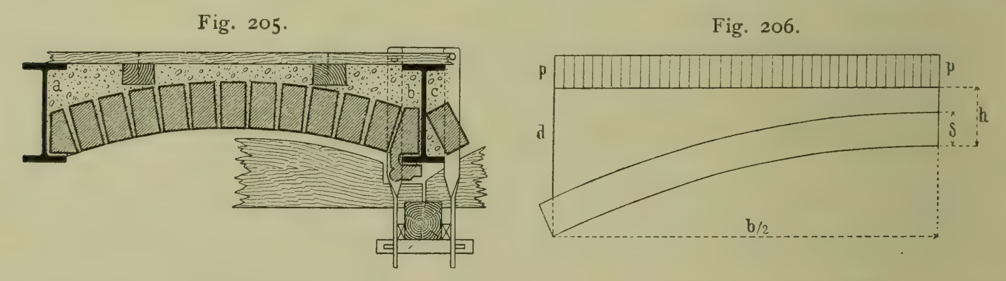


Fig. 205. Fig. 206.

Träger ($l =$) 5,5 m, die Theilung ($b =$) 1,7 m, $\delta = 0{,}12$ m, $h = 0{,}20$ m, γ für Backfteine 1700 kg, $p = 750$ kg und mit Rückficht auf Stöfse für Backftein $s = 50\,000$ kg für 1 qm. Demnach ift nach Gleichung 6 (S. 97)

$$d = \frac{8 \cdot 50000 \cdot 0{,}12\,(3 \cdot 0{,}2 - 0{,}12) + 1{,}7^2\,(6 \cdot 750 + 5 \cdot 1700 \cdot 0{,}2)}{24 \cdot 0{,}12 \cdot 50000 - 1700 \cdot 1{,}7^2} = 0{,}295 = \text{rund } 0{,}3 \text{ m}.$$

Das Gewicht für 1 m diefer Kappe ift nach Gleichung 20 (S. 99)

$G = {}^1/_3 \cdot 1700 \cdot 1{,}7\,(0{,}3 + 2 \cdot 0{,}2)$ . . . . $= 675{,}0$ kg,
3 cm Cement-Eftrich $1 \cdot 1{,}7 \cdot 0{,}03 \cdot 2500$. $= 128{,}5$ »,
1 lauf. Meter Träger fchätzungsweife . . $= 96{,}5$ »,
zufammen 900,0 kg.

Das Gewicht g für 1 qm ift fomit $\frac{900}{1{,}7}$ = rund 530 kg.

Der Schub der voll belafteten Kappe ift nach Gleichung 8 (S. 97)

$$H' = 0{,}5 \cdot 50000 \cdot 0{,}12 = 3000 \text{ kg für 1 m Trägerlänge}$$

und der gröfste Gegenfchub der unbelafteten Kappe nach Gleichung 9 (S. 97)

$$H'' = 0{,}125 \left[\sqrt{9 \cdot 50000^2\,(0{,}3 - 0{,}2 - 0{,}12)^2 + 1700 \cdot 50000 \cdot 1{,}7^2\,(0{,}3 + 5 \cdot 0{,}2)} - 3 \cdot 50000\,(0{,}3 - 0{,}2 - 0{,}12)\right],$$
$$H'' = 2640 \text{ kg}.$$

Die wagrechte Belaftung eines zwifchen einer belafteten und einer unbelafteten Kappe liegenden Trägers ift fomit

$$\frac{H' - H''}{100} = \frac{3000 - 2640}{100} = 3{,}6 \text{ kg für 1 cm}.$$

138) Vergl. hierüber auch: Centralbl. d. Bauverw. 1887, S. 393.

Die gröſste lothrechte Belaſtung eines Trägers tritt für volle Laſt beider anſchlieſsenden Kappen ein; ſie beträgt für 1 qm der Decke $750 + 530 = 1280$ kg.

Die lothrechte Belaſtung eines Trägers zwiſchen belaſteter und unbelaſteter Kappe iſt

$$\frac{900 + \frac{1{,}7 \cdot 750}{2}}{100} = 15{,}4 \text{ kg für } 1 \text{ cm}.$$

Wird noch die zuläſſige Beanſpruchung des Eiſens zu 1100 kg für 1 qcm feſt geſetzt, ſo iſt mit Bezug auf die Tafel bei S. 113 für den voll belaſteten Träger $s : q = 1100 : 1280 = 0{,}86$. Zunächſt unter der punktirten Leitlinie der Coordinaten $l = 5{,}5$ und $b = 1{,}7$ liegt auf $s : q = 0{,}86$ das Profil Nr. 32, welches alſo bei voller Belaſtung genügt.

Für dieſes Profil iſt [139]) $\mathcal{J}_x = 12622$ und $\mathcal{J}_y = 652$; für den einſeitig belaſteten Träger iſt das lothrechte Moment $\frac{15{,}4 \cdot 550^2}{8} = 582312$ cmkg und die entſprechende Spannung bei 32 cm Trägerhöhe

$$\frac{582312 \cdot 32}{2 \cdot 12622} = 739 \text{ kg}.$$

Das wagrechte Biegungsmoment unter dem einſeitigen Schube von 3,6 kg iſt $\frac{3{,}6 \cdot 550^2}{8} = 136125$ cmkg, die zugehörige Spannung bei 13,1 cm Trägerbreite $\frac{136125 \cdot 13{,}1}{2 \cdot 652} = 1368$; es ergäbe ſich ſomit für die Kanten der Flanſche $1368 + 739 = 2107$ kg Spannung.

Will man die genügende Tragfähigkeit durch Verſtärkung des Trägerprofiles erreichen, ſo kommt man nach dem vorgeführten Unterſuchungsgange zum Profil Nr. 40. Die Verſtärkung der Träger kann aber billiger durch Einlegen von Ankerreihen erreicht werden (ſiehe Fig. 207, 208, 209 u. 210), welche die Träger gegen einander abſteifen, alſo Stützen in wagrechtem Sinne bilden. Solche Anker müſſen in jedem Träger nach beiden Seiten unverſchieblich befeſtigt ſein, beſtehen daher am beſten aus Rundeiſen, welche nur von Träger zu Träger reichen, und in den benachbarten Fachen etwas verſetzt werden, oder nach Fig. 207 u. 208 aus Bandeiſen über und unter den Trägern, welche die Flanſche beiderſeits mit Klammern umgreifen.

Fig. 207.

Fig. 208.

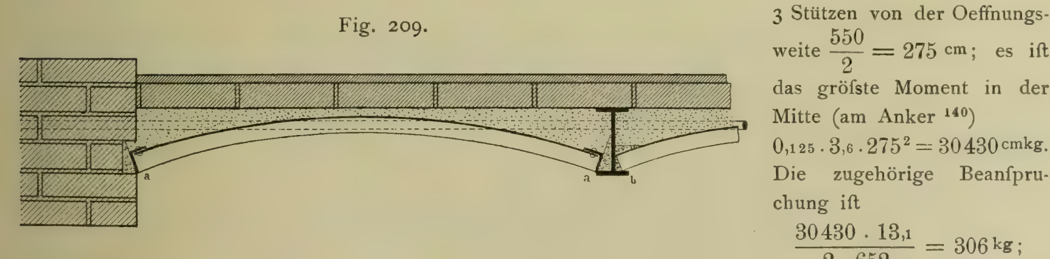
Legt man eine ſolche Ankerreihe in die Mitte der Weite, ſo entſteht in wagrechtem Sinne ein continuirlicher Träger auf 3 Stützen von der Oeffnungsweite $\frac{550}{2} = 275$ cm; es iſt das gröſste Moment in der Mitte (am Anker [140])

$$0{,}125 \cdot 3{,}6 \cdot 275^2 = 30430 \text{ cmkg}.$$

Die zugehörige Beanſpruchung iſt

$$\frac{30430 \cdot 13{,}1}{2 \cdot 652} = 306 \text{ kg};$$

Fig. 209.



[139]) Siehe Theil I, Band 1, erſte Hälfte (S. 198) dieſes »Handbuches«.

[140]) Nach: Theil I, Band 1, zweite Hälfte (S. 337; 2. Aufl.: S. 146).

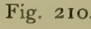
die gröfste Beanfpruchung wird $739 + 306 = 1044$ kg; alfo genügt nach Einlegen der einen Ankerreihe Profil Nr. 32 auch der wagrechten Beanfpruchung.

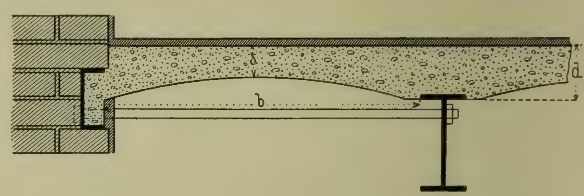
Der letzte Träger an der zu unmittelbarer Aufnahme von wagrechten Schüben zu fchwachen Wand hat nach den früheren Erörterungen [141]) drei Aufgaben. Er hat bei voller Belaftung der beiden Endfache zu tragen:

α) die halbe Laft des Endfaches mit $\frac{900 + 1{,}7 \cdot 750}{2 \cdot 100} = 10{,}9$ kg für 1 cm;

β) den Schub des voll belafteten Endfaches mit $\frac{3000}{100} = 30$ kg für 1 cm, welcher durch in das letzte Fach in gröfserer Zahl eingezogene Anker aufgehoben, durch den Endträger aber innerhalb der Ankertheilung auf die Anker übertragen werden mufs;

γ) die Spannung, welche er als äufsere Gurtung des vom letzten Fache mit beiden Trägern und Füllung gebildeten wagrechten Trägers für den vollen Schub der belafteten zweiten Kappe erhält.


Fig. 210.



Die Spannung im Träger aus α ift

$$s_1 = \frac{10{,}9 \cdot 550^2 \cdot 32}{8 \cdot 2 \cdot 12622} = 523 \text{ kg};$$ fie fällt weg, wenn der Endträger in der Wand durchlaufend aufgelagert ift, wie in Fig. 210.

Die Spannung aus γ ergiebt fich in folgender Weife. Das Angriffsmoment eines vollen Kappenfchubes ift $\frac{30 \cdot 550^2}{8}$; das Widerftandsmoment des wagrechten Trägers, deffen Gurtungsquerfchnitt gleich dem des Profiles Nr. 32, alfo 78 qcm ift, beträgt bei 1,7 m Trägerhöhe $170 \cdot 78\, s_3$; demnach ift

$$s_3 = \frac{30 \cdot 550^2}{8 \cdot 170 \cdot 78} = 86 \text{ kg}.$$

Werden 3 Anker in das Endfeld gelegt, fo entfteht für die Uebertragung des Schubes im Endfache auf die Anker ein continuirlicher Träger mit 4 Oeffnungen von je $\frac{550}{4}$ cm. Das Moment am Mittelanker ift alsdann [142]) $0{,}0714 \cdot 30 \frac{550^2}{16}$, fomit die aus diefer Uebertragung entftehende Beanfpruchung

$$s_2 = \frac{0{,}0714 \cdot 30 \cdot 550^2 \cdot 13{,}1}{16 \cdot 2 \cdot 652} = 407 \text{ kg}.$$

Die ganze Beanfpruchung der unteren äufseren Flanfchkante im Endträger am Mittelanker ift fomit $s = s_1 + s_2 + s_3 = 523 + 86 + 407 = 1016$ kg, fo dafs alfo bei dreifacher Verankerung des Endfeldes auch hier das Profil Nr. 32 genügt.

Die gröfste Spannkraft in den den Trägerenden zunächft liegenden Ankern ift [143])

$$1{,}1428 \cdot 30 \frac{550}{4} = 4714 \text{ kg}.$$

Der vorletzte Träger hat bei voller Belaftung beider Endfache zunächft die gröfste lothrechte Laft eines Zwifchenträgers mit $\frac{900 + 1{,}7 \cdot 750}{100} = 21{,}8$ kg für 1 cm, dann die Spannung zu erleiden, welche in ihm als der inneren Gurtung des wagrechten Abfchlufsträgers nach γ des Endträgers entfteht. Die genaue Spannung aus der lothrechten Laft ift $\frac{550^2 \cdot 21{,}8 \cdot 32}{8 \cdot 2 \cdot 12622} = 1045$ kg; die aus γ des letzten Trägers war 86 kg, fo dafs der vorletzte Träger höchftens $1045 + 86 = 1131$ kg für 1 qcm erleidet. Sollte diefe Spannung fchon zu hoch erfcheinen — und fie wird häufig noch mehr das zuläffige Mafs überfchreiten, wenn der gewählte Träger gegenüber der lothrechten Laft weniger überfchüffige Stärke befitzt, als in diefem Falle — fo mufs an diefer Stelle ein ftärkerer Träger eingefügt werden.

Insbefondere ift noch darauf hinzuweifen, dafs bei Anordnung einer geraden Anzahl von Ankern im Endfelde der gefährdete Querfchnitt unter Umftänden nicht

141) Vergl. Art. 61, S. 66.

142) Nach Theil I, Band 1, zweite Hälfte, S. 337 (2. Aufl.: S. 146).

143) Nach ebendaf.

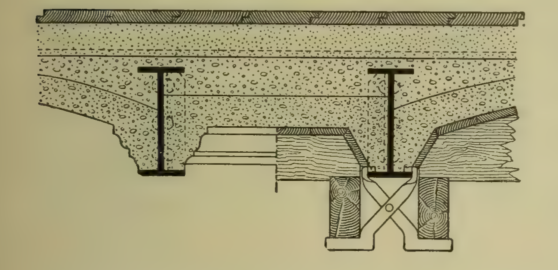
in der Trägermitte, ſondern an dem der Mitte zunächſt liegenden Anker zu ſuchen iſt, weil meiſt die aus den wagrechten Momenten entſtehenden Spannungen überwiegen.

Da bei weit geſpannten Decken unter Umſtänden mehr als 3 Anker nöthig werden, die Momenten-Tabelle in Theil I, Band 1, zweite Hälfte (S. 337 [144]) dieſes »Handbuches« aber nur bis zu 4 Oeffnungen geht, ſo möge dieſe Tabelle hier noch, unter Beibehaltung der dort gewählten Bezeichnungen, um einige Stufen erweitert werden.

Anzahl der Oeffnungen														
	5	6	7			5	6	7			5	6	7	
M_0	0	0	0		D_0	0,3947	0,3942	0,3944		$\mathfrak{M}_1$	0,0779	0,0777	0,0778	
M_1	0,1053	0,1058	0,1056		D_1	1,1316	1,1346	1,1338		$\mathfrak{M}_2$	0,0330	0,0341	0,0339	
M_2	0,0790	0,0770	0,0774		D_2	0,9737	0,9616	0,9648		$\mathfrak{M}_3$	0,0460	0,0433	0,0440	
M_3	0,0790	0,0866	0,0844	pl^2	D_3	0,9737	1,0192	1,0070	pl	$\mathfrak{M}_4$	0,0330	0,0433	0,0406	pl^2
M_4	0,1053	0,0770	0,0844		D_4	1,1316	0,9616	1,0070		$\mathfrak{M}_5$	0,0779	0,0341	0,0440	
M_5	0	0,1058	0,0774		D_5	0,3947	1,1346	0,9648		$\mathfrak{M}_6$	—	0,0777	0,0339	
M_6	—	0	0,1056		D_6	—	0,3942	1,1338		$\mathfrak{M}_7$	—	—	0,0778	
M_7	—	—	0		D_7	—	—	0,3944						

Alle dieſe Werthe gelten für ganz volle Belaſtung aller Oeffnungen. Es würden ſich noch höhere Werthe ergeben können, wenn auf die ungünſtigſte Laſtvertheilung über die von den Ankern gebildeten Theile deſſelben Balkenfaches Rückſicht genommen würde. Die einer ſolchen Vertheilung entſprechende Laſtannahme geht jedoch zu weit, und die durch ihr höchſt ſeltenes Eintreten etwa entſtehenden Mehrſpannungen ſind eben wegen des ſeltenen Vorkommens ungefährlich.

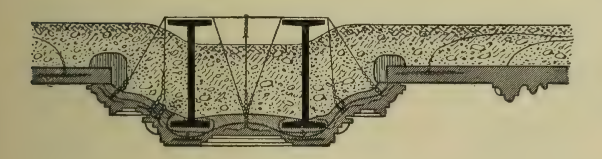
Fig. 211.



Will man die Lochung der Trägerſtege für Rundeiſenanker vermeiden, ſo bilde man die Anker nach Fig. 207 u. 208 (S. 115) aus Flacheiſen.

Ein Mittel, die Anker in den Mittelfachen, abgeſehen von den Endfachen, zu vermeiden, bietet noch die wechſelweiſe eng und weit angeordnete Trägertheilung nach Fig. 211 u. 212, wenn man jedesmal die enge Theilung mit einer ebenen Betonplatte füllt und dieſe nebſt den ſie einfaſſenden Trägern als einen wagrechten Träger anſieht, welcher die Schübe der benachbarten, mit Kappen geſchloſſenen, weiten Trägerfache aufnimmt.

Fig. 212.



Bezeichnet bei einer derartigen Anordnung Q die geſammte Laſt, welche die Längeneinheit einer gewölbten Kappe auf den Träger bringt, b die weite Trägertheilung der gewölbten Fache, b_1 die enge Trägertheilung der geraden Fache, l die Stützlänge der Träger, g die Eigenlaſt des geraden Faches für die Flächeneinheit,

[144]) 2. Aufl.: S. 146.

p die Nutzlaſt für die Flächeneinheit, W das Widerſtandsmoment des Trägerquerſchnittes für die wagrechte Schwerpunktsaxe, F den Trägerquerſchnitt, s_e die zuläſſige Beanſpruchung für die Flächeneinheit des Trägerquerſchnittes, H' den Schub der belaſteten Kappe (nach den Gleichungen 4, 8, 27 oder 31) und H'' den gröſsten Gegenſchub der unbelaſteten Kappe (nach den Gleichungen 5, 9, 29 u. 36); ſo folgt die erforderliche Breite der geraden Fachfüllungen aus der Beziehung

$$b_1 = \frac{1}{p+g}\left[\frac{8 s_e W}{l^2} - Q + \sqrt{\left(\frac{8 s_e W}{l^2} - Q\right)^2 - \frac{2(H' - H'')(p+g) W}{F}}\right] \qquad 41.$$

Dieſe Gleichung iſt in der Weiſe zu benutzen, daſs zunächſt derjenige Trägerquerſchnitt aufgeſucht wird, für welchen der Ausdruck unter dem Wurzelzeichen zuerſt gröſser als Null wird. Die Werthe dieſes Querſchnittes führe man ein und berechne das zugehörige b_1.

Beiſpiel. Es ſoll für die im Beiſpiele in Art. 90 (S. 96) behandelte Betonkappe mit $b = 1{,}6$ m, $p = 750$ kg, $\delta = 0{,}1$ m, $d = 0{,}29$ m, $H' = 1500$ kg und $H'' = 1110$ kg ein Widerlagsträger durch eine ebene Betonplatte der Dicke von 12 cm mit 29 — 12 = 17 cm Ueberfüllung mit der Breite b_1 geſchaffen werden; der Fuſsboden beſteht aus Eichenholz. Zunächſt iſt nach Gleichung 20 (S. 99), da das Gewicht der Kappe $\gamma_1 = 2200$ kg gleich dem der Ueberfüllung γ und die Ueberfüllungshöhe im Scheitel gleich Null, alſo h in Gleichung 20 (S. 99) gleich δ zu ſetzen iſt,

$$\frac{G}{2} = \frac{1{,}6}{2}\left[\frac{2200}{3}(0{,}3 + 2 \cdot 0{,}1)\right] = 293 \text{ kg}$$

Fuſsboden $\frac{1}{2} \cdot 1{,}6 \cdot 1 \cdot 0{,}035 \cdot 800 = 22$ »

Nutzlaſt $\frac{1}{2} \cdot 1{,}6 \cdot 1 \cdot 750 \ldots = 600$ »

alſo $Q = 915$ kg (für 1 qm).

Weiter iſt das Gewicht von 1 qm der geraden Platte $0{,}12 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2200 = 264$ kg
» » » » » Sandüberfüllung $0{,}17 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1600 = 272$ »
» » » » des Fuſsbodens $0{,}035 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 800 = 28$ »

alſo $g = 564$ kg.

Ferner iſt $H' = 1500$ kg und $H'' = 1110$ kg.

Die Stützweite l der Träger betrage 5 m und die zuläſſige Beanſpruchung des Eiſens 12000000 kg für 1 qm.

Die Gleichung 41 lautet dann:

$$b_1 = \frac{1}{750+564}\left[\frac{8 \cdot 12000000\, W}{5^2} - 915 + \sqrt{\left(\frac{8 \cdot 12000000\, W}{5^2} - 915\right)^2 - \frac{2(1500-1110)(564+750) W}{F}}\right].$$

Das I-Profil Nr. 22 liefert unter dem Wurzelzeichen noch einen Werth kleiner als Null, dasjenige Nr. 23 zuerſt einen ſolchen gröſser als Null; für dieſen iſt $W = 0{,}000317$ und $F = 0{,}00429$ qm, alſo $\frac{W}{F} = 0{,}074$ und ſomit

$$b_1 = \frac{1}{1314}\left[3840000 \cdot 0{,}000317 - 915 + \sqrt{(3840000 \cdot 0{,}000317 - 915)^2 - 1024920 \cdot 0{,}074}\right] = 0{,}325 \text{ m}.$$

Es ſind ſomit als Gurtungen des wagrechten Trägers zwei I-Eiſen Nr. 23 zu wählen und in 32,5 cm Abſtand von einander zu verlegen. In der ganzen Decke tritt dann ein regelmäſsiger Wechſel von 160 cm weiten gewölbten Kappen und 32,5 cm breiten ebenen Platten ein. An den Enden muſs der Abſchluſs in der oben erläuterten Weiſe erfolgen.

Um zwei Träger mit der eingeſchloſſenen Kappe oder Platte als einen wagrechten Träger anſehen zu können, empfiehlt es ſich, an die Trägerwände einige Winkeleiſen zu nieten (ſiehe Fig. 211, S. 117), damit durch deren Eingriff in die Kappe oder Platte Längsverſchiebungen der Träger gegen die Kappe oder Platte verhindert werden.

c) Abmeſſungen von Balkenlagen mit Unterzügen.

102. Continuirliche Gelenkträger.

Es wurde bereits in Art. 10 bis 13 (S. 24 bis 26) erläutert, weſshalb die Verwendung von continuirlichen Trägern für den Hochbau auf Bedenken ſtöſst, zugleich aber, daſs die Anordnung continuirlicher Gelenkträger [145]) wegen der durch ſie bedingten Materialerſparniſs [146]) durchweg zu empfehlen iſt. Es ſollen daher im Nachſtehenden noch die zur Anordnung dieſer Art von Trägern über beliebig vielen Oeffnungen nöthigen Angaben folgen.

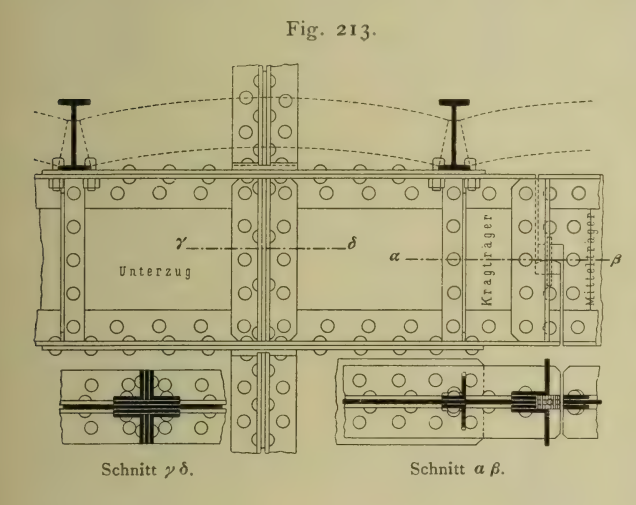
Für dieſe Träger iſt zu unterſcheiden, ob die Stützen alle gleich weit ſtehen, oder ob es geſtattet iſt, den Stützen verſchiedene Abſtände zu geben. Die Belaſtung ſei g (in Kilogr.) für 1 cm Länge des Trägers als Eigenlaſt, p (in Kilogr.) für 1 cm als Nutzlaſt und q (in Kilogr.) für 1 cm als Laſtenſumme.

1) Gleiche Oeffnungsweiten.

103. Lage der Gelenke.

In dieſem Falle iſt es zweckmäſsig, die Momente über den Stützen durch die Wahl der Lage der Gelenke (Fig. 213 bis 216) gleich den gröſsten Momenten in den ununterbrochenen Oeffnungen zu machen, damit die durchzuführenden Trägerſtücke dieſer Oeffnungen möglichſt gleichmäſsig ausgenutzt werden. Es entſteht ſo die in Fig. 217 bis 219 angedeutete Gruppirung der Maximalmomente, von denen M_3, M_4, M_5 nach den Regeln des Trägers auf 2 Stützen zu ermitteln ſind.

Fig. 213.



Die Lage der Gelenke, welche Vorbedingung dieſer Momentengruppirung iſt, ſo wie die Gröſse der Momente folgen aus den nachſtehenden Gleichungen, welche durch Fig. 217 u. 219 erläutert ſind.

$$k = \frac{1}{2}\left(1 - \sqrt{\frac{g}{g+q}}\right) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 42.$$

$$k_1 = \frac{q}{4(g+q)} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 43.$$

$$k_3 = \frac{1}{2}\left[1 - k_1 + m - \sqrt{(1 - k_1 + m)^2 - 4m}\right], \text{ worin } m = \left[\frac{q}{g}\left(1 - \sqrt{1 + \frac{g}{q}}\right)\right]^2 \quad 44.$$

$$k_2 = \frac{k_1}{1 - k_3} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 45.$$

$$M_1 = \frac{q\,k_1\,l^2}{2} = \frac{q\,k\,l^2}{2}(1 - k) = \frac{q^2\,l^2}{8(g+q)} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad 46.$$

$$M_2 = \frac{q\,k_3\,l^2}{2}(1 - k_2) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 47.$$

[145]) Siehe Theil I, Band 1, zweite Hälfte (S. 329; 2. Aufl.: S. 138) dieſes »Handbuches«.

[146]) Siehe ebendaſ., Art. 369, S. 333 (2. Aufl.: Art. 161, S. 142).

Fig. 214.

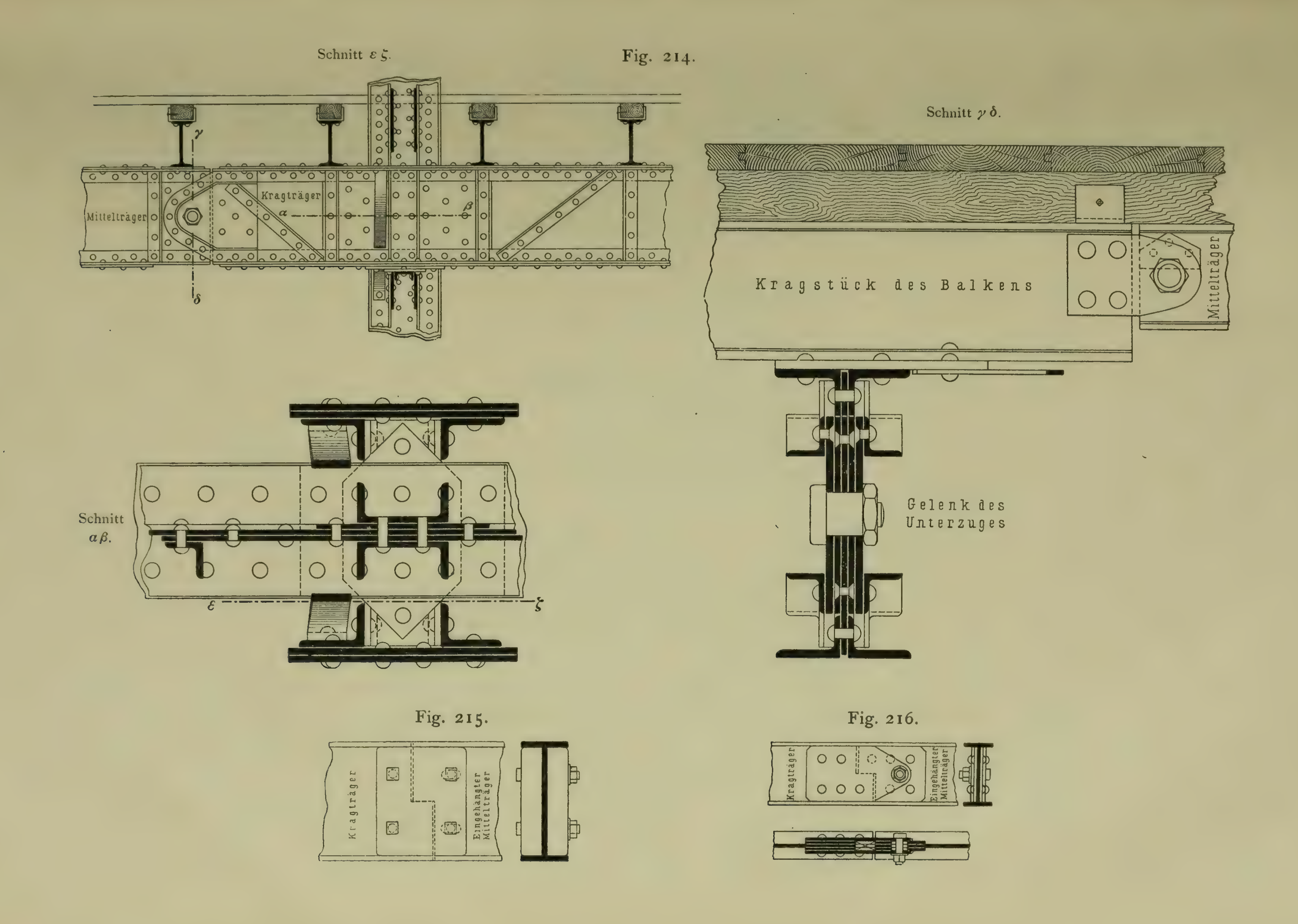


Fig. 215.

Fig. 216.

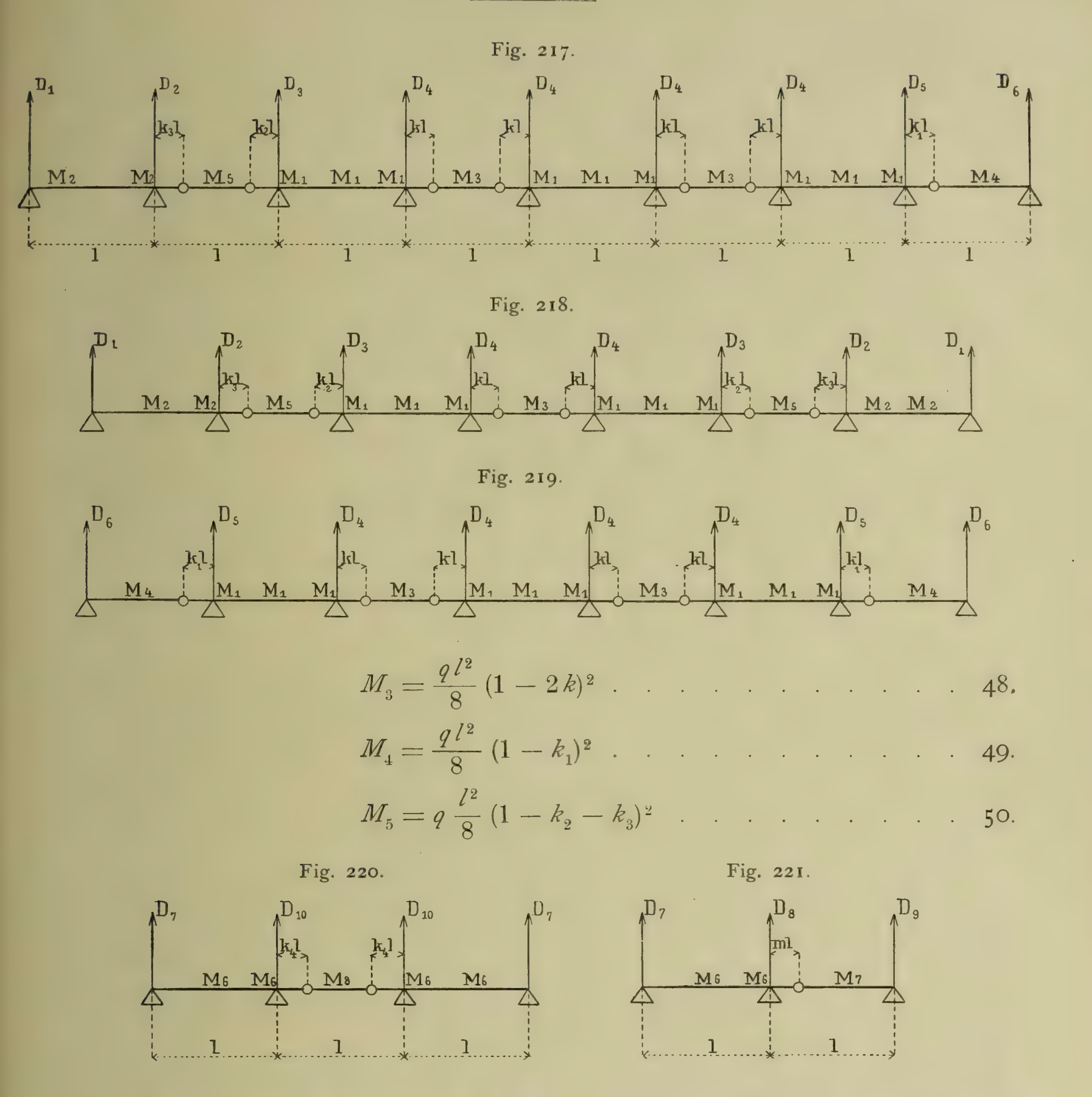


Fig. 217.

Fig. 218.

Fig. 219.

$$M_3 = \frac{q\,l^2}{8}(1 - 2k)^2 \quad \ldots \quad 48.$$

$$M_4 = \frac{q\,l^2}{8}(1 - k_1)^2 \quad \ldots \quad 49.$$

$$M_5 = q\,\frac{l^2}{8}(1 - k_2 - k_3)^2 \quad \ldots \quad 50.$$

Fig. 220.

Fig. 221.

Diefe Gleichungen decken alle Fälle für beliebig viele Stützen nach Mafsgabe von Fig. 217 bis 219 bis auf die beiden in Fig. 220 u. 221 dargeftellten Anordnungen für 3 und 4 Stützen. Für diefe treten noch die folgenden Gleichungen hinzu:

$$k_4 = 0{,}5 - \sqrt{0{,}25 - m} \quad \ldots \quad 51.$$

$$M_6 = \frac{m\,q\,l^2}{2} \quad \ldots \quad 52.$$

$$M_7 = \frac{q\,l^2}{8}(1 - m)^2 \quad \ldots \quad 53.$$

$$M_8 = \frac{q\,l^2}{8}(1 - 2k_4)^2 \quad \ldots \quad 54.$$

104.
Stützen-belaftungen.

Für die Berechnung der Belaftung von Unterzügen durch die Balken und der Stützenbelaftungen durch die Unterzüge ift die Kenntnifs der gröfsten Werthe der Auflagerdrücke von Wichtigkeit, welche fich nach folgenden Ausdrücken mit Berückfichtigung der Bezeichnungen in Fig. 217 bis 221 berechnen laffen:

$$D_1 = \frac{l\,[q - g\,k_3\,(1 - k_2)]}{2} \qquad 55.$$

$$D_2 = \frac{q\,l}{2}\,(1 + k_3)\,(2 - k_2) \qquad 56.$$

$$D_3 = \frac{q\,l}{2}\left[(2 - k_3)\,(1 + k_2) - \frac{g}{4\,(g + q)}\right] \qquad 57.$$

$$D_4 = \frac{q\,l}{2}\left[2 + \frac{q - g}{4\,(q + g)}\right] \qquad 58.$$

$$D_5 = \frac{q\,l}{2}\left[2 + \frac{2\,q - g}{4\,(q + g)}\right] \qquad 59.$$

$$D_6 = \frac{q\,l}{2}\;\frac{3\,q + 4\,g}{4\,(q + g)} \qquad 60.$$

$$D_7 = \frac{l}{2}\,(q - m\,g) \qquad 61.$$

$$D_8 = q\,l\,(1 + m) \qquad 62.$$

$$D_9 = \frac{q\,l}{2}\,(1 - m) \qquad 63.$$

$$D_{10} = \frac{q\,l}{2}\,(2 + m) \qquad 64.$$

Nach den Gleichungen 55 bis 64 erhält man auch die geringften Werthe der Stützen-, bezw. Auflagerdrücke, wenn man überall g mit q und q mit g vertaufcht. Diefe kleinften Werthe find von befonderer Wichtigkeit, wenn fie bei geringem Werthe von g negativ werden, da fie dann eine Verankerung der Träger nach unten bedingen; ihre Berechnung zu verabfäumen, kann daher verhängnifsvoll werden.

Beifpiel. In einem Gebäude von 30 m Länge und 15 m Tiefe foll eine Decke mit Kappen ftets gleichen Schubes nach den Gleichungen 11 bis 16 (S. 98) gewölbt zwifchen eifernen Trägern von 1,0 m Theilung hergeftellt werden, fo dafs für die Balken nur die lothrechte Laft in Frage kommt. Das Eigengewicht der Decke beträgt 400 kg und die Nutzlaft 500 kg für 1 qm. Die Balken liegen der Tiefe nach und follen durch 2 Unterzüge in 5 m Abftand geftützt werden, fo dafs jeder Balken durch Fig. 221 für $l = 500$ cm dargeftellt ift. Die Unterzüge follen von Säulen getragen werden, welche gleichfalls 5 m von einander ftehen; der Unterzug erhält alfo 6 gleiche Oeffnungen.

α) Balken. Die Laften für 1 cm bei 1,0 m Theilung betragen $g = 4{,}0$ kg, $p = 5{,}0$ kg und $q = 9{,}0$ kg; folglich ift nach Gleichung 44

$$m = \left[\frac{9}{4}\left(1 - \sqrt{1 + \frac{4}{9}}\right)\right]^2 = 0{,}2062$$

und nach Gleichung 51

$$k_4 = 0{,}5 - \sqrt{0{,}25 - 0{,}2062} = 0{,}2907\,, \quad k_4\,l = 0{,}2907 \cdot 500 = 145{,}35\,\text{cm}.$$

Hier ift das Gelenk nach Fig. 213 bis 215 oder 216 anzuordnen. Nach Gleichung 52 ift

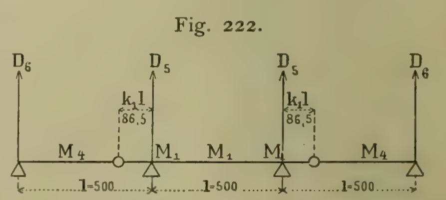
$$M_6 = \frac{0{,}2062 \cdot 9 \cdot 500^2}{2} = 232\,000\,\text{cmkg}.$$

Bei 1000 kg zuläffiger Beanfpruchung ift fomit das Normalprofil Nr. 21 von I-Eifen [147]) für die Endftücke der Balken zu verwenden.

Für das Mittelftück ift $l = 500 - 2 \cdot 145{,}35 = 209{,}3$ cm; $b = 1{,}0$ m; $s : q = 1000 : 900 = 1{,}1$; alfo ift nach der Tafel bei S. 113 Normalprofil Nr. 12 zu verwenden.

Werden die Balken mit Gelenken in den Endöffnungen

Fig. 222.



[147]) Siehe die betr. Tabelle in Theil I, Band 1, erfte Hälfte (S. 198) diefes »Handbuches«.

nach Fig. 222 angeordnet, in welche die Bezeichnungen aus Fig. 219 übernommen wurden, fo wird nach Gleichung 43

$$k_1 = \frac{9}{4\,(9+4)} = 0{,}173\,, \quad \text{alfo} \quad k_1\,l = 0{,}173 \,.\, 500 = 86{,}5\,^{\text{cm}};$$

ferner nach den Gleichungen 46 und 49

$$M_1 = \frac{9^2 \,.\, 500^2}{8\,(9+4)} = 194\,711\,^{\text{cmkg}} \quad \text{und} \quad M_4 = \frac{9 \,.\, 500^2\,(1 - 0{,}173)^2}{8} = 192\,355\,^{\text{cmkg}}.$$

Bei 1000 kg Beanfpruchung reicht fomit nunmehr das Profil Nr. 20 für alle Theile des Balkens aus; es geht aber bei diefer Anordnung die unmittelbare Verbindung der Säulen mit den Wänden verloren, weil zwifchen Wand und Säule nun ein Gelenk liegt.

β) Unterzüge. Um die Belaftung der Unterzüge zu erhalten, mufs D_{10} nach Gleichung 64 für volle Belaftung und für Eigenlaft ermittelt werden. Es ift

$$max\ D_{10} = \frac{9 \,.\, 500}{2}\,(2 + 0{,}2062) = 4964\,^{\text{kg}},$$

$$min\ D_{10} = \frac{4 \,.\, 500}{2}\,(2 + 0{,}2062) = 2200\,^{\text{kg}}.$$

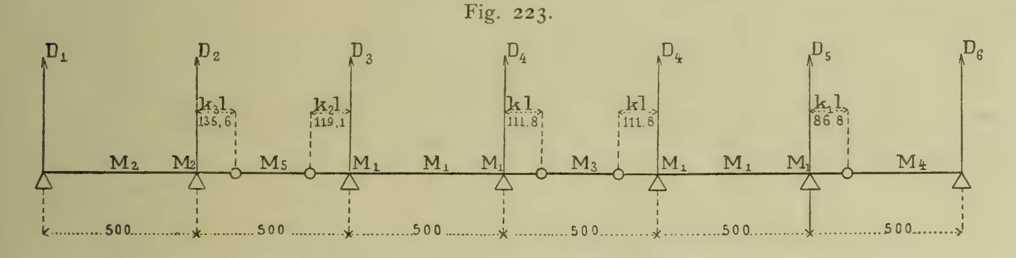
Bei der Anordnung der Balken mit Gelenken in den Endöffnungen wird die Belaftung der Unterzüge (Fig. 222) nach Gleichung 59 berechnet. Sie ift

$$max\ D_5 = \frac{9 \,.\, 500}{2}\left[2 + \frac{2 \,.\, 9 - 4}{4\,(9+4)}\right] = 5106\,^{\text{kg}},$$

$$min\ D_5 = \frac{4 \,.\, 500}{2}\left[2 + \frac{2 \,.\, 4 - 9}{4\,(4+9)}\right] = 1981\,^{\text{kg}}.$$

Da fomit bei der Anordnung nach Fig. 222 neben der fchlechteren Säulenverankerung mit den Wänden auch noch eine ungünftigere Belaftung der Unterzüge eintritt, fo wird man in der Regel diejenige in Fig. 221 vorziehen. Diefe Laften treten als Einzellaften in 1,0 m Abftand auf; die Berechnung liefert

Fig. 223.



aber genügend genaue Ergebniffe, wenn die Laft wieder gleichförmig vertheilt gedacht wird. Es ift fomit für den Unterzug (Fig. 223), wenn die Balken nach Fig. 221 gebildet werden, für 1 cm Trägerlänge $g = 22$ kg und $q = 49{,}64$ kg, daher nach Gleichung 42

$$k = \frac{1}{2}\left(1 - \sqrt{\frac{22}{22+50}}\right) = 0{,}2236 \quad \text{und} \quad k\,l = 0{,}2236 \,.\, 500 = 111{,}8\,^{\text{cm}},$$

nach Gleichung 43

$$k_1 = \frac{50}{4\,(22+50)} = 0{,}1736 \quad \text{und} \quad k_1\,l = 0{,}1736 \,.\, 500 = 86{,}8\,^{\text{cm}},$$

nach Gleichung 44

$$m = \left[\frac{50}{22}\left(1 - \sqrt{1 + \frac{22}{50}}\right)\right]^2 = 0{,}2066\,,$$

$$k_3 = \frac{1}{2}\left[1 - 0{,}1736 + 0{,}2066 - \sqrt{(1 - 0{,}1736 + 0{,}2066)^2 - 4 \,.\, 0{,}2066}\right] = 0{,}2712\,,$$

$$k_3\,l = 0{,}2712 \,.\, 500 = 135{,}6\,^{\text{cm}},$$

nach Gleichung 45

$$k_2 = \frac{0{,}1736}{1 - 0{,}2712} = 0{,}2382 \quad \text{und} \quad k_2\,l = 0{,}2382 \,.\, 500 = 119{,}1\,^{\text{cm}},$$

nach Gleichung 46

$$M_1 = \frac{50^2 \,.\, 500^2}{8\,(22+50)} = 1\,085\,070\,^{\text{cmkg}}.$$

Bei 1000^{kg} Beanfpruchung müffen alfo die beiden beiderfeits überkragenden Trägerftücke aus Normalprofil Nr. 36 gebildet fein.

Nach Gleichung 47 ift $M_2 = \frac{50 \cdot 0{,}2712 \cdot 500^2}{2} (1 - 0{,}2382) = 1\,291\,250^{cmkg}$; für das überkragende Endftück links genügt alfo Profil Nr. 38 knapp.

Nach Gleichung 48 ift $M_3 = \frac{50 \cdot 500^2 (1 - 2 \cdot 0{,}2236)^2}{8} = 477\,481^{cmkg}$; für den mittleren eingehängten Träger ift daher Profil Nr. 28 zu verwenden.

Nach Gleichung 49 ift $M_4 = \frac{50 \cdot 500^2 \cdot (1 - 0{,}1736)^2}{8} = 1\,068\,125^{cmkg}$; das linke Endftück mufs fonach aus Profil Nr. 36 beftehen.

Nach Gleichung 50 ift $M_5 = \frac{50 \cdot 500^2 (1 - 0{,}2382 - 0{,}2712)^2}{8} = 376\,075^{cmkg}$; für den linken eingehängten Träger ift alfo Profil Nr. 26 zu verwenden.

Die Belaftungen der Wände an den Enden der Unterzüge und die der ftützenden Säulen ergeben fich aus den Gleichungen 55 bis 60 ohne Weiteres; z. B. ift nach Gleichung 58

$$D_4 = \frac{50 \cdot 500}{2} \left[2 + \frac{50 - 22}{4 (50 + 22)} \right] = 26\,216^{kg},$$

oder nach Gleichung 57

$$D_3 = \frac{50 \cdot 500}{2} \left[(2 - 0{,}2712)(1 + 0{,}2382) - \frac{22}{4 (22 + 50)} \right] = 25\,802^{kg}.$$

Wären die Balken nicht überkragend angeordnet, fondern über den Unterzügen geftofsen, fo hätte fich für diefelben das gröfste Biegungsmoment zu $\frac{9 \cdot 500^2}{8} = 281\,250^{cm}$ ergeben, und ftatt der Querfchnitte Nr. 21 und 12 hätte Nr. 22 durchweg verwendet werden müffen.

Wären zugleich die Unterzüge über den Säulen geftofsen, fo hätte die Laft $(500 + 400) \frac{5}{100} = 45^{kg}$ für 1^{cm}, alfo das gröfste Biegungsmoment in allen Oeffnungen $\frac{45 \cdot 500^2}{8} = 1\,406\,250^{cmkg}$ betragen; ftatt der Profile 38, 36 und 28 hätte alfo durchweg Nr. 40 verwendet werden müffen.

Durch Einfügen der Gelenke ift der Trägerroft alfo beträchtlich erleichtert, und diefe Erleichterung ift durchfchlagender, als die Verftärkung der Stützen, welche in Folge der Anordnung continuirlicher Gelenkträger erforderlich wird. Die gröfste Stützenlaft für über den Auflagern geftofsene Balken und Unterzüge würde $500 \cdot 45 = 22\,500^{kg}$ betragen.

2) Verfchiedene Oeffnungsweiten.

105.
Grundgedanke.

Da, wo verfchiedene Oeffnungsweiten, alfo ungleiche Stützenentfernungen zuläffig find, kann man diefen Umftand benutzen, um die Stütz- und Kraglängen den Werthen *g* und *q* fo anzupaffen, dafs das gröfste Moment auch der eingehängten Trägerftücke gleich den beiden gröfsten Momenten der Kragftücke und fomit alle gefährlichen Momente eines Trägers einander gleich werden. Man erreicht fo, neben der Möglichkeit, einen einheitlichen Querfchnitt für den ganzen Träger durchführen zu können, zugleich thunlichft geringes Gewicht der Träger.

Da die Stützentheilung bei Erfüllung diefer Bedingung aber von *g* und *q* abhängig ift, andererfeits bei mehrgefchoffigen Gebäuden die Stützen verfchiedener Gefchoffe lothrecht über einander ftehen follen, fo ift die günftigfte Stützentheilung in diefem Falle nicht gleichzeitig in allen Gefchoffen zu erreichen, wenn die verfchiedenen Gefchoffe auf verfchiedene Werthe von *g* und *q* einzurichten find. In einem folchen Falle richte man die Stützentheilung für diejenigen Werthe von *g* und *q* ein, welche in den meiften Gefchoffen wiederkehren; in den übrigen Gefchoffen ift völlige Ausgleichung der Momente dann nicht zu erreichen, und man mufs fich damit begnügen, wie bei gleicher Stützentheilung, die Momente nur an den gefährlichen Stellen der Kragtheile gleich zu machen.

106. Erſter Fall.

Es iſt hier alſo zuerſt der Fall zu behandeln, daſs die Stützentheilungen für völlige Ausgleichung aller gröſsten Momente eingerichtet werden ſollen.

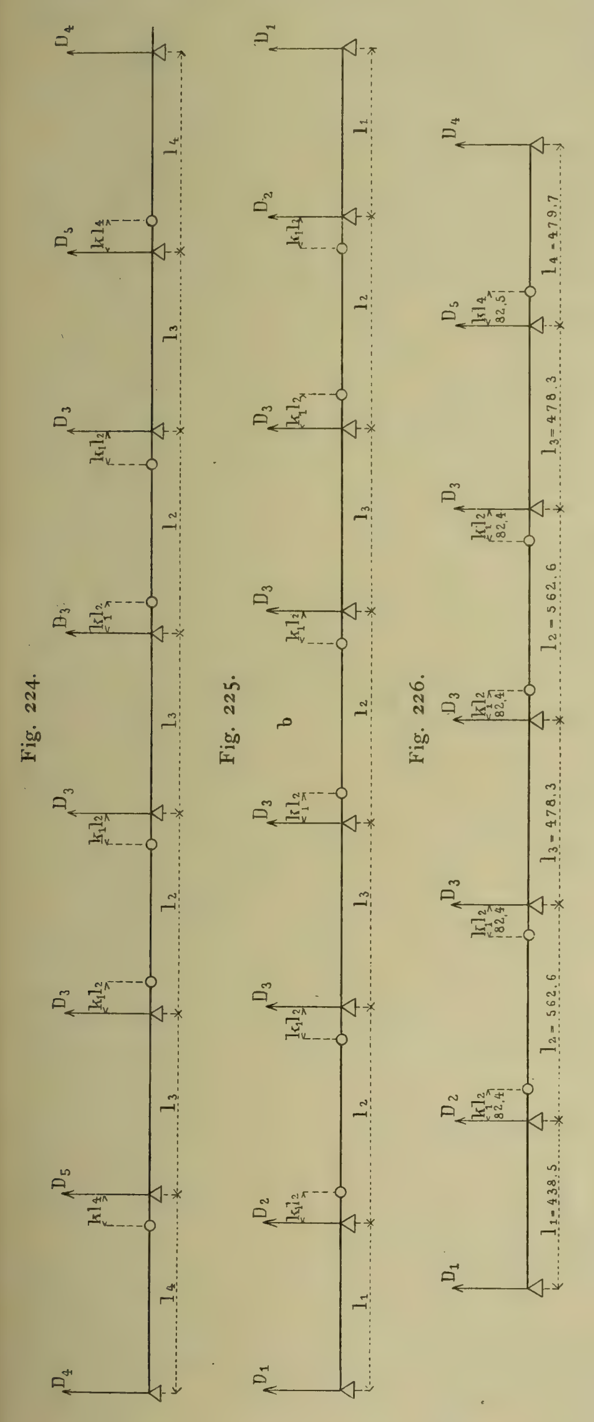


Fig. 224. Fig. 225. Fig. 226.

Die Anordnung dieſer Bedingung genügender Träger iſt allgemein in Fig. 224 u. 225 für eine ungerade, in Fig. 226 für eine gerade Anzahl von Oeffnungen dargeſtellt; die Anzahl der Oeffnungen für Fig. 224 u. 225 ſei $2n+1$; jene für Fig. 226 betrage $2n$.

Zunächſt ergeben ſich die die Gelenke feſt legenden Zahlenwerthe k und k_1 aus

$$k = 3 - 2\sqrt{2} = 0{,}1716\,, \qquad 65.$$

$$k_1 = \frac{\sqrt{2}-1}{2\sqrt{2}} = 0{,}14644 \qquad 66.$$

Neben den Bezeichnungen, deren Bedeutung aus Fig. 224 bis 226 hervorgeht, führen wir noch die ſtets bekannte Geſammtlänge des Trägers L ein. Wird wieder die Eigenlaſt für die Längeneinheit g, die Geſammtlaſt q und die Nutzlaſt p genannt, ſo kann die Abmeſſung der einzelnen Theile nach den folgenden Ausdrücken erfolgen:

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{0{,}3536\, g}{q\left(\sqrt{1+\frac{g}{q}}-1\right)} \qquad 67.$$

$$\frac{l_3}{l_2} = 0{,}7072\sqrt{\frac{g+q}{q}}\;. \qquad 68.$$

$$\frac{l_4}{l_2} = \frac{1}{\sqrt{8k}} = 0{,}8525\;. \qquad 69.$$

Damit ſind alle Weiten auf l_2 bezogen, und die Berechnung von l_2 aus L geſchieht nun für die verſchiedenen Fälle nach den folgenden Gleichungen.

Zahl der Oeffnungen (ungerade) $= 2n+1$ (Fig. 224: Endöffnung mit Gelenk):

$$L = 2\,l_4 + n\,l_3 + (n-1)\,l_2\,. \qquad 70.$$

Zahl der Oeffnungen (ungerade) $= 2n+1$ (Fig. 225: Endöffnung ohne Gelenk):

$$L = 2\,l_1 + n\,l_2 + (n-1)\,l_3 \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;. \qquad 71.$$

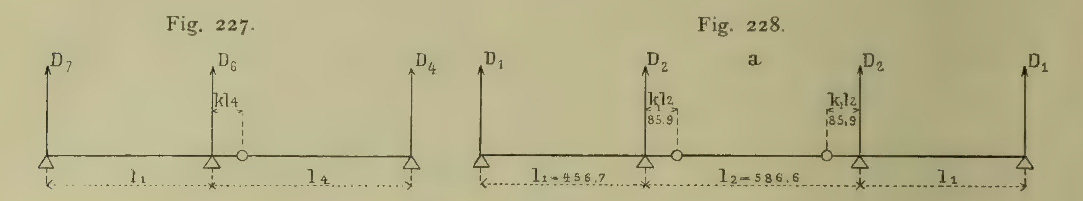
Zahl der Oeffnungen (gerade) $= 2n$ (Fig. 226):

$$L = l_1 + l_4 + (n-1)\,l_2 + (n-1)\,l_3 \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;. \qquad 72.$$

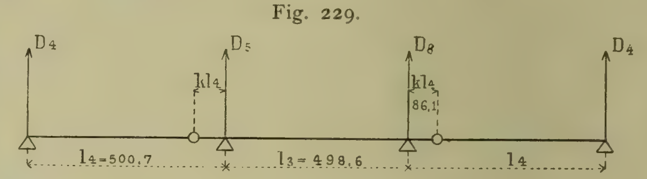
Die bei diefer Anordnung in allen gefährlichen Querfchnitten gleichen Momente find zu berechnen nach

$$M = \frac{q l_2^2}{16} = 0{,}0858 \, q \, l_4^2 \quad \text{. . . . . } 73.$$

In Fig. 227 bis 229 find die Verhältniffe der Träger auf 3 und 4 Stützen



dargeftellt, fo weit für diefelben die aus den Gleichungen 67 bis 69 zu entnehmenden Verhältniffe nicht verwendbar find. Danach ift



$$\frac{l_4}{l_1} = 2{,}411 \, \frac{q}{g} \left(\sqrt{1 + \frac{g}{q}} - 1 \right) \quad \text{. . . . . . . } 74.$$

$$\frac{l_4}{l_3} = 1{,}207 \sqrt{\frac{q}{g+q}} \quad \text{. . . . . } 75.$$

Für die Ermittelung der Stützenbelaftungen ift die Feftftellung der gröfsten Auflagerdrücke erforderlich. Diefe ergeben fich aus:

$$D_1 = \frac{q l_1}{2} - \frac{g l_2^2}{16 l_1} \quad \text{. . . . . } 76.$$

$$D_2 = \frac{q}{2} \left(l_1 + l_2 + \frac{l_2^2}{8 l_1} \right) \quad \text{. . . . . } 77.$$

$$D_3 = q \, \frac{l_2 + l_3}{2} + (q - g) \, \frac{l_2^2}{16 l_3} \quad \text{. . . . . } 78.$$

$$D_4 = 0{,}4142 \, q l_4 \quad \text{. . . . . } 79.$$

$$D_5 = q \, \frac{l_3 + l_4}{2} + 0{,}0858 \, q l_4 \left(1 + \frac{l_4}{l_3} \right) - \frac{g l_2^2}{16 l_3} \quad \text{. . . . . } 80.$$

$$D_6 = q \, \frac{l_1 + l_4}{2} + 0{,}0858 \, q l_4 \left(1 + \frac{l_4}{l_1} \right) \quad \text{. . . . . } 81.$$

$$D_7 = \frac{q l_1}{2} - 0{,}0858 \, g \, \frac{l_4^2}{l_1} \quad \text{. . . . . } 82.$$

$$D_8 = q \, \frac{l_3 + l_4}{2} + 0{,}0858 \left[q l_4 \left(1 + \frac{l_4}{l_3} \right) - g \, \frac{l_4^2}{l_3} \right] \quad \text{. . . . } 83.$$

Die Gleichungen 76 bis 83 geben die gröfsten Werthe der Stützendrücke; die kleinften — möglicher Weife negativen — ergeben fich durch Vertaufchung von g mit q und q mit g aus denfelben Gleichungen.

Beifpiel. Des Vergleiches wegen mag hier die in Art. 104 (S. 122) fchon für gleiche Stützentheilungen zu Grunde gelegte Decke nach den nunmehr vorliegenden Gefichtspunkten nochmals durchgerechnet werden. Es ift alfo für die Balken $L = 15$ m und für die Unterzüge $L = 30$ m; die Eigenlaft beträgt 400 und die Nutzlaft 500 kg für 1 qm.

Für die Balken ift $p = 4$, $q = 9^{kg}$ für 1^{cm} und bei Anordnung nach Fig. 228 mit Gelenken in der Mittelöffnung nach Gleichung 67

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{0{,}3536 \cdot 4}{9\left(\sqrt{1+\frac{4}{9}}-1\right)} = 0{,}7784\,;$$

nach Gleichung 71 wird für $n = 1$ und $L = 15$ hiernach $15 = 2 \cdot 0{,}7784\, l_2 + 1 \cdot l_2$; fomit $l_2 = 5{,}866$ und $l_1 = 4{,}567^{m}$, und weiter nach Gleichung 66: $k_1 l_2 = 0{,}14644 \cdot 5{,}866 = 0{,}859^{m}$.

Nach Gleichung 73 ift das überall gleiche gröfste Moment $M = \frac{9 \cdot 586{,}6^2}{16} = 193556^{cmkg}$; es genügt alfo bei 1000^{kg} zuläffiger Beanfpruchung das Profil Nr. 20.

Die Belaftung der Unterzüge folgt nach Gleichung 77

$$\text{mit dem gröfsten Werthe } D_2 = \frac{9}{2}\left(456{,}7 + 586{,}6 + \frac{586{,}6^2}{8 \cdot 456{,}7}\right) = 5118^{kg},$$

$$\text{mit dem kleinften Werthe } D_2 = \frac{4}{2}\left(456{,}7 + 586{,}6 + \frac{586{,}6^2}{8 \cdot 456{,}7}\right) = 2274^{kg}.$$

Werden diefe Laften, welche in $1{,}0^{m}$ Theilung wiederkehren, gleichförmig vertheilt gedacht, fo werden für die Unterzüge $q = 51{,}2^{kg}$ und $g = 22{,}8^{kg}$.

Werden für die Balken nach Fig. 229 die Gelenke in die Endöffnungen gelegt, fo ift nach Gleichung 75

$$\frac{l_4}{l_3} = 1{,}207\sqrt{\frac{9}{4+9}} = 1{,}0043\,,$$

fomit nach Gleichung 70 für $n = 1$ nunmehr $15 = 2\, l_4 + \frac{1}{1{,}0043} l_4$, alfo $l_4 = 5{,}007^{m}$ und $l_3 = 4{,}986^{m}$. Nach Gleichung 63 ift $k\, l_4 = 0{,}1716 \cdot 5{,}007 = 0{,}861^{m}$. Nach Gleichung 73 wird

$$M = 0{,}0858 \cdot 9 \cdot 500{,}7^2 = 194041^{cmkg}\,,$$

alfo eben fo grofs, wie nach der Anordnung mit Gelenken in der Mittelöffnung.

Die Belaftung der Unterzüge wird nach Gleichung 83 am gröfsten, demnach

$$D_8 = 9\,\frac{498{,}6 + 500{,}7}{2} + 0{,}0858\,[9 \cdot 500{,}7\,(1 + 1{,}0043) - 4 \cdot 1{,}0043 \cdot 500{,}7] = 5100^{kg};$$

am kleinften, wenn in Gleichung 83 die Gröfsen g und q vertaufcht werden, fomit

$$D_8 = 4\,\frac{498{,}6 + 500{,}7}{2} + 0{,}0858\,[4 \cdot 500{,}7\,(1 + 1{,}0043) - 9 \cdot 1{,}0043 \cdot 500{,}7] = 1955^{kg}.$$

Hier find beide Anordnungen alfo etwa gleichwerthig; wegen der befferen Verbindung der Säulen mit den Wänden, fo wie wegen der geringeren Schwankung in der Belaftung der Unterzüge wird die erftere nach Fig. 228 beibehalten.

Für den Unterzug ift fomit rund $q = 51{,}2^{kg}$ und $g = 22{,}8^{kg}$ für 1^{cm}. Um bei $L = 30^{m}$ annähernd 5^{m} Säulenentfernung zu erhalten, werden 6 Oeffnungen angeordnet, fo dafs Fig. 226 mafsgebend ift. Alsdann ift nach Gleichung 67

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{0{,}3536 \cdot 22{,}8}{51{,}2\left(\sqrt{1+\frac{22{,}8}{51{,}2}}-1\right)} = 0{,}7793\,;$$

nach Gleichung 68

$$\frac{l_3}{l_2} = 0{,}7072\sqrt{\frac{22{,}8 + 51{,}2}{51{,}2}} = 0{,}8502\,;$$

nach Gleichung 69

$$\frac{l_4}{l_2} = 0{,}8525.$$

Wird weiter in Gleichung 72 für n der Werth 3 eingefetzt, fo folgt

$$30 = l_2\,(0{,}7793 + 0{,}8525 + 2 + 2 \cdot 0{,}8502) \quad \text{oder} \quad l_2 = 5{,}626^{m};$$

Danach ift

$$l_1 = 0{,}7793 \cdot 5{,}626 = 4{,}385^{m},$$
$$l_3 = 0{,}8502 \cdot 5{,}626 = 4{,}783^{m},$$
$$l_4 = 0{,}8525 \cdot 5{,}626 = 4{,}797^{m}.$$

Das an allen gefährlichen Stellen gleiche gröfste Moment ift nach Gleichung 73

$$M = \frac{51{,}2 \cdot 562{,}6^2}{16} = 1012860 \text{ cmkg.}$$

Bei 1000 kg Beanfpruchung ift fonach durchweg das I-Profil Nr. 36 zu verwenden, und es ift fomit trotz der etwas gröfseren Laft die Trägeranordnung hier vortheilhafter, als bei gleichen Stützentheilungen.

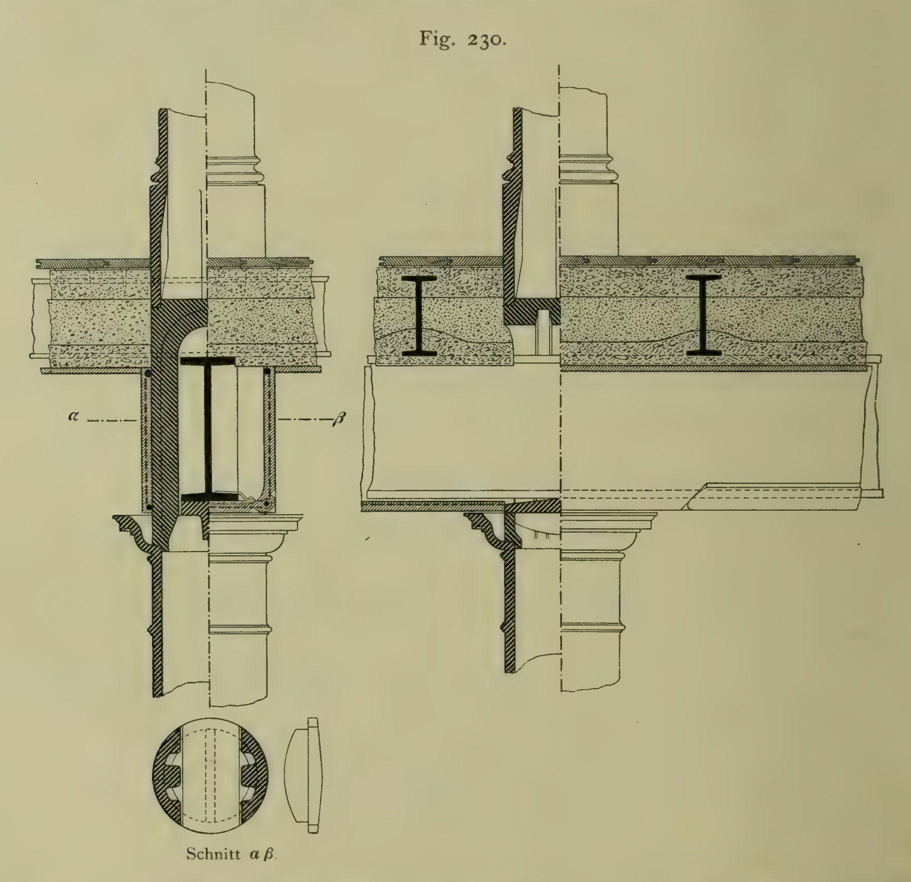
Die Länge $k_1 l_2$ wird nach Gleichung 66: $0{,}14644 \cdot 562{,}6 = 82{,}4$ cm und $k l_4$ nach Gleichung 65: $0{,}172 \cdot 479{,}7 = 82{,}5$ cm.

Die Stützendrücke, welche aus den Gleichungen 76 bis 83 folgen, werden hier um ein Geringes gröfser, als bei gleicher Theilung der Stützen. So wird z. B. nach Gleichung 78

$$D_3 = 51{,}2 \frac{562{,}6 + 478{,}3}{2} + (51{,}2 - 22{,}8) \frac{562{,}6^2}{16 \cdot 478{,}3} = 27820 \text{ kg.}$$

Der Druck D_3 für gleiche Stützentheilung betrug nur 25802 kg; doch hat diefer Unterfchied keinen erheblichen Einflufs auf die Koften der Säulen; viel wichtiger ift die durch die überall gleiche Trägerhöhe erzielte gröfsere Gleichmäfsigkeit in der Ausbildung der Stützen, wie der ganzen Decke.

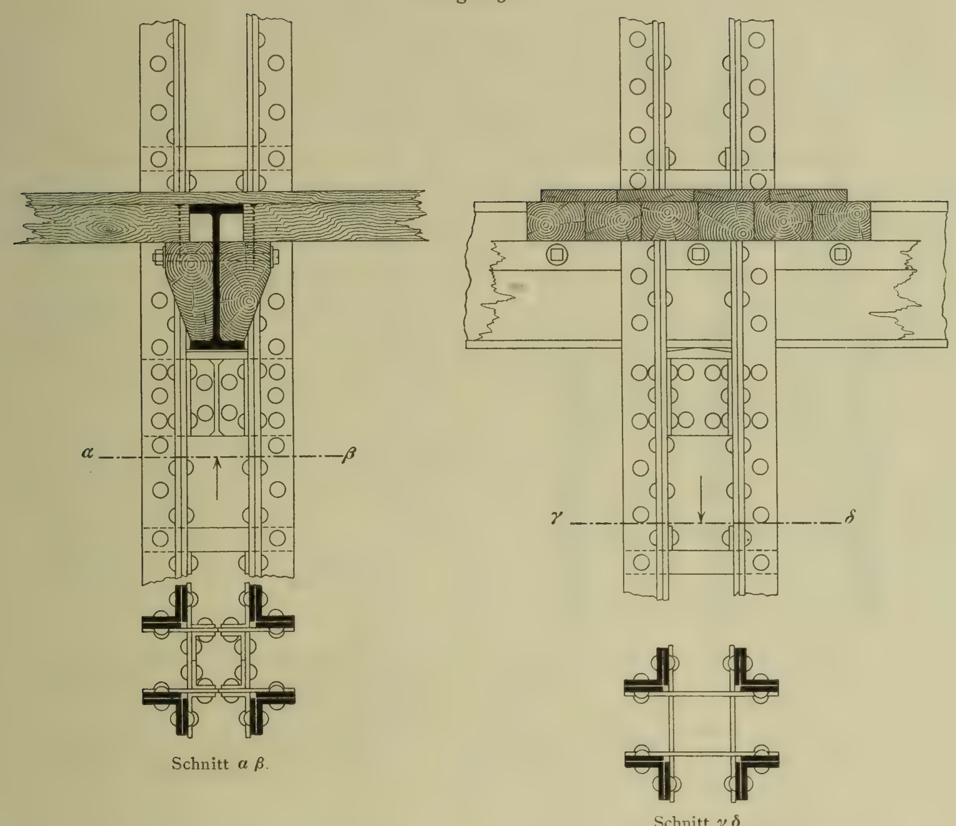
Fig. 230.



Es mag noch befonders hervorgehoben werden, dafs in den Rechnungsbeifpielen das Eigengewicht der Träger vernachläffigt wurde; bei Berechnungen für die Ausführung genügt es, für die Balken ein Gewicht von 0,5 kg für 1 cm, für die Unterzüge ein folches von 0,9 kg für 1 cm von vornherein einzuführen. In der Regel werden die Träger diefe Gewichte nicht ganz erreichen.

Bei einfacher Anordnung der Unterzüge könnten die Stützen nach den Beifpielen in Fig. 230 bis 234 ausgebildet werden; die Anordnung in Fig. 235 ift für fo fchwere Traganordnungen, wegen der Schwächung der Säule, weniger zu empfehlen. Bei gufseifernen Stützen find nur die Anordnungen in Fig. 236 u. 230 ganz

Fig. 231.



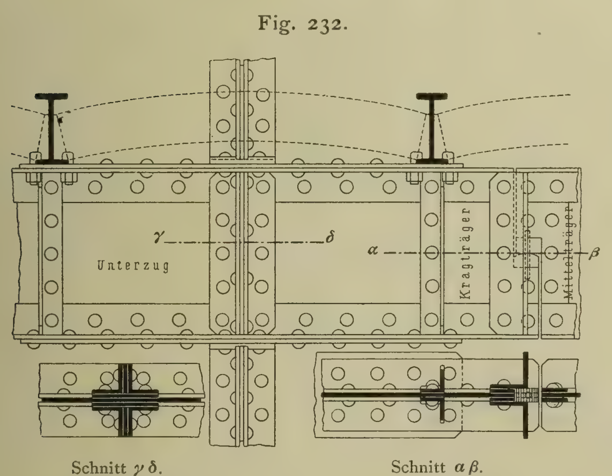
Schnitt α β.

Schnitt γ δ.

vollkommen, fo wie für nicht zu grofse Belaftung auch die Anordnung nach Fig. 17 (S. 14); Fig. 236 bedingt aber eine Balkenlagerung nach Fig. 237 oder 238. Man erkennt hieraus, dafs fich continuirliche Gelenkunterzüge bei fchmiedeeifernen Stützen wefentlich bequemer anordnen laffen, als bei den gefchloffenen gufseifernen, wenn nicht die Decke fo leicht ift, dafs man die Anordnung nach Fig. 17 (S. 14), Fig. 230 oder 235 unbedenklich wählen kann.

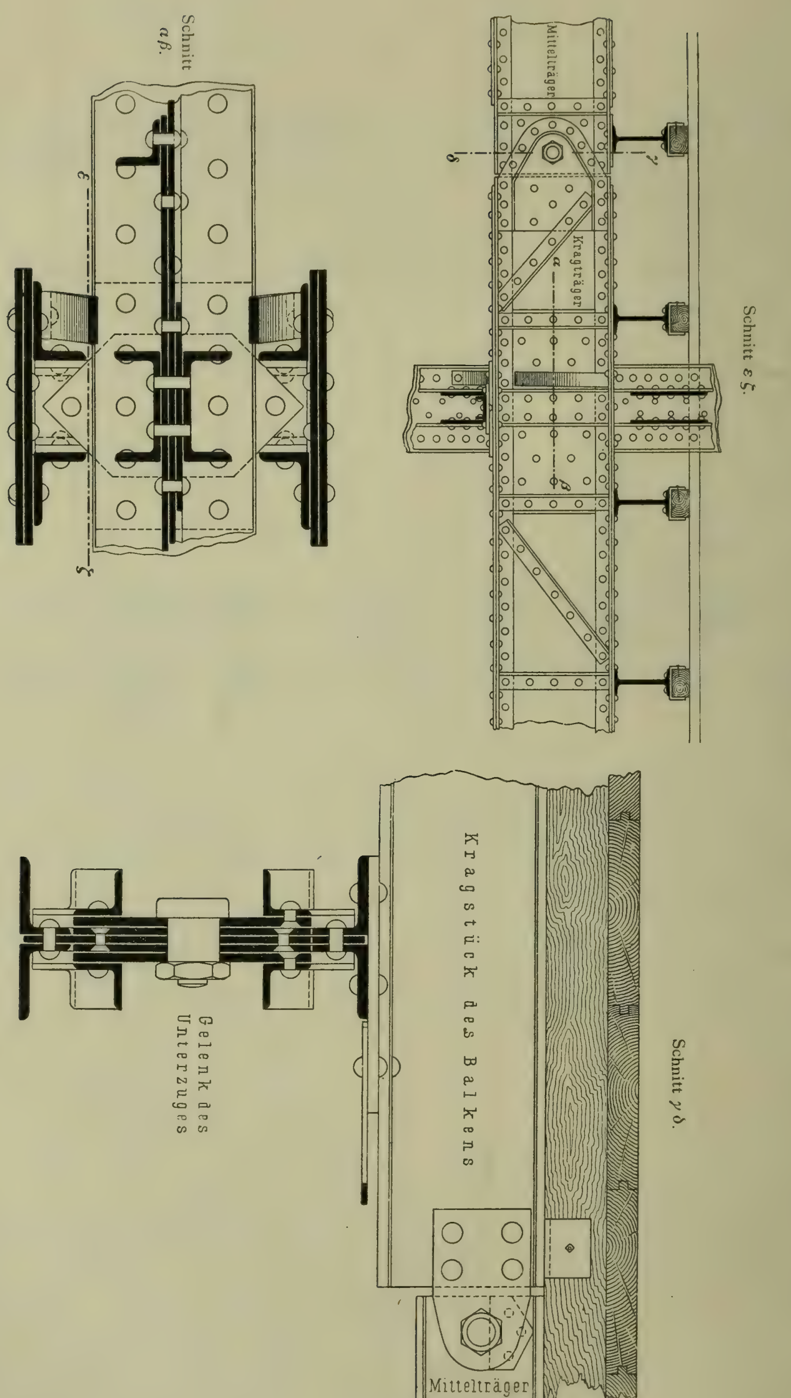
Bei den ungleichen Stützentheilungen ift das Nachrechnen der kleinften Stützendrücke nach den Gleichungen 76 bis 83, unter Vertaufchen von g und q, noch wichtiger, als bei gleichen Oeffnungen, da hier noch leichter als dort die Verankerung der Auflagerftellen nach unten für negative Stützendrücke erforderlich wird. Zur Aufhebung diefer ftets geringen negativen Auflagerdrücke wird in der Regel fchon das Gewicht der Stützen genügen. Die Endauflager, bei denen am leichteften negative Auflagerkräfte vorkommen, können meift Verankerungen in den Wänden erhalten;

Fig. 232.



Schnitt γ δ.

Schnitt α β.



Schnitt εζ.
Mittelträger
Kragträger
Schnitt αβ.
Kragstück des Balkens
Schnitt γδ.
Gelenk des Unterzuges
Mittelträger

Fig. 233.

Fig. 234.

Fig. 235.

Fig. 236.

Fig. 237.

Fig. 238.

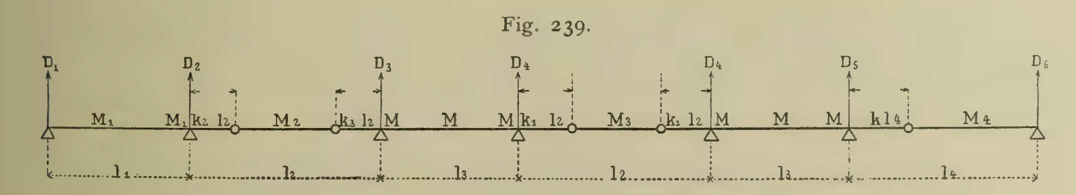
doch ift dann bei Bemeffung der Wandftärken die Wirkung diefer meift aufserhalb des Schwerpunktes nach oben wirkenden Kräfte genau zu berückfichtigen.

107. Zweiter Fall.

Der zweite Fall ift der, dafs die Stützweiten zwar verfchieden, aber unabhängig vom Verhältniffe $g : q$ feft vorgefchrieben find, fo dafs die Ausgleichung aller gröfsten Momente nicht mehr möglich ift.

Abgefehen von ganz unregelmäfsigen Anordnungen, in denen blofs Sonderrechnungen von Fall zu Fall zum Ziele führen können, ift hier nur der oben angedeutete Fall allgemein zu behandeln, dafs die Stützenftellung in Fig. 224 bis 228 für ein Gefchofs auf vollftändige Ausgleichung der Momente eingerichtet wurde, und nun in einem anderen Gefchoffe durchgeführt werden mufs, wo fie dem dort auftretenden Verhältniffe $g : q$ nicht mehr entfpricht.

Fig. 239.



In Fig. 239 find daher die Bezeichnungen der Stützweiten aus Fig. 224 bis 226 (S. 125) übernommen, und es kommt nun darauf an, die Gelenke fo zu legen, dafs die drei, bezw. zwei gröfsten Momente eines continuirlichen Trägerftückes unter fich gleich werden. Es werden dann im Allgemeinen die continuirlichen Trägerftücke unter fich und auch gegen die eingehängten Trägerftücke verfchiedenen Querfchnitt erhalten, wie dies durch die in Fig. 239 beigefchriebenen Momentenbezeichnungen angedeutet ift. Die Lage der Gelenke, die Momentengröfsen und die Auflagerdrücke ergeben fich mit Bezug auf Fig. 239 aus den folgenden Formeln.

Zuerft werden aus den gegebenen Stützweiten und g und q zwei Hilfsgröfsen a und b berechnet nach:

$$a = \frac{q}{4(g+q)} \frac{l_3^2}{l_4^2} \quad \ldots \ldots \quad 84.$$

$$b = \left[\frac{q}{g} \frac{l_1}{l_2} \left(1 - \sqrt{1 + \frac{g}{q}}\right)\right]^2 \quad \ldots \ldots \quad 85.$$

Danach ergiebt fich dann

$$k = \frac{q}{4(g+q)} \frac{l_3^2}{l_4^2} \quad \ldots \ldots \quad 86.$$

$$k_1 = 0{,}5\,(1 - \sqrt{1 - 4a}) \quad \ldots \ldots \quad 87.$$

$$k_2 = \frac{b + 1 - a}{2} - \sqrt{\left(\frac{b + 1 - a}{2}\right)^2 - b} \quad \ldots \ldots \quad 88.$$

$$k_3 = \frac{a}{1 - k_2} \quad \ldots \ldots \quad 89.$$

$$M = \frac{q a l_2^2}{2} \quad \ldots \ldots \quad 90.$$

$$M_1 = \frac{q b l_2^2}{2} \quad \ldots \ldots \quad 91.$$

Die Momente M_3, M_4 und M_5 ergeben fich nach den Regeln des Balkens auf zwei Stützen.

Die gröfsten Werthe der Stützendrücke find:

$$D_1 = \frac{q l_1}{2} - \frac{g b l_2^2}{2 l_1} \quad \ldots \ldots \quad 92.$$

$$D_2 = \frac{q}{2}\left[l_1 + l_2\left(k_2 + 1 + k_2 \frac{l_2}{l_1}\right)(1 - k_3)\right] \quad \ldots \ldots \quad 93.$$

$$D_3 = \frac{q}{2}\left[l_2(1 - k_2) + l_3\right]\left(1 + k_3 \frac{l_2}{l_3}\right) - \frac{g a l_2^2}{2 l_3} \quad \ldots \ldots \quad 94.$$

$$D_4 = \frac{q}{2}\left(l_2 + l_3 + a \frac{l_2^2}{l_3}\right) - \frac{g a l_2^2}{2 l_3} \quad \ldots \ldots \quad 95.$$

$$D_5 = \frac{q}{2}\left[l_3 + l_4 + k l_4 \left(1 + \frac{l_4}{l_3}\right)\right] \quad \ldots \ldots \quad 96.$$

$$D_6 = \frac{q}{2} l_4 (1 - k) \quad \ldots \ldots \quad 97.$$

Auch hier ergeben fich die geringften, möglicher Weife negativen Werthe der Stützendrücke aus den Gleichungen 92 bis 97 durch Vertaufchen von g und q.

7. Kapitel.

Schutz der Balkendecken gegen Feuchtigkeit und Schalldurchläffigkeit.

Die Schutzmittel gegen Feuchtigkeit [148]) follen bezüglich der Theile gleichfalls einzeln befprochen werden, nämlich a) für die Ausfüllungen der Balkenfache, b) für die Träger und Balken und c) für die Freiftützen. Vom Schutze der Fufsböden gegen auffteigende Feuchtigkeit war bereits in Theil III, Band 2, Heft 1 (Abth. III, Abfchn. 1, A, Kap. 12, unter a, 1, γ) diefes »Handbuches« die Rede; von den ferneren bei Fufsböden nothwendigen Schutzmitteln wird noch in Theil III, Band 3, Heft 3 diefes »Handbuches« gefprochen werden.

a) Feuchtigkeitsfchutz für die Ausfüllungen der Balkenfache.

108. Wahl des Materials.

Die Fachfüllungen follen aus völlig trockenen und die Feuchtigkeit nicht auffaugenden Stoffen hergeftellt werden, da fie fonft die Veranlaffung zur Zerftörung der Decke werden und fchon vorher den Herd für die Entwickelung fchädlicher Gafe und Pilze bilden. Bei der Ausfüllung hölzerner Balkenfache follen vor Allem organifche Beimengungen vermieden werden; man hat daher auf völlige Reinheit des fonft gut zu diefem Zwecke zu verwendenden Baufchuttes von Holzfpähnen, Zeugreften, Papierftücken, Stroh u. dergl., fo wie auf vollftändige Fernhaltung von Humus aus Sandfüllungen zu achten. Füllungen aus Sägefpähnen, Torfgrufs, Moos u. dergl. find, abgefehen von ihrer grofsen Feuergefährlichkeit, völlig trocken und nur da zu verwenden, wo fie auch dauernd keiner Feuchtigkeit ausgefetzt find. Dafs Kiefelguhr die trockenfte Füllung abgiebt, wurde fchon in Art. 27 (S. 39) befprochen.

Bei an fich feucht liegenden Decken find namentlich die Füllungen aus Gyps und Gyps-Beton, fo wie aus hohlen Gypsblöcken nach franzöfifchen Muftern unzuläffig, weil der Gyps fich im Waffer leicht löst. Für derartige Fälle empfehlen fich ganz befonders Füllungen aus Hohlziegeln oder hohlen Terracotten (Syftem *Laporte*), deren Canäle man zur Lüftung der Decke benutzen kann, wenn man fie mit nach aufsen gehenden Luftlöchern verfieht.

Eine Reihe der neueren Zwifchendecken-Anordnungen find in erfter Linie mit Rückficht auf völlige Trockenheit durchgebildet, fo die Korkfteine, Gypsdielen und Spreutafeln, welche in Folge ihrer Zufammenfetzung an fich wafferbeftändig find und durch die vielen Hohlräume gute Gelegenheit zum Verdunften etwa eingedrungener Feuchtigkeit geben.

109. Mittel gegen das Eindringen der Feuchtigkeit.

Als Mittel, um das Eindringen von Feuchtigkeit in die Fachausfüllung überhaupt zu verhindern, empfiehlt fich die wafferdichte Herftellung des Fufsbodens durch Beläge oder Kalfatern; die wegen Verhinderung des Auffteigens von Staub durch die Fufsbodenfugen zu empfehlende Abdeckung der Fachausfüllung mit Dachpappe kann die hier geftellte Aufgabe nur unvollkommen löfen, da die einmal durch den Fufsboden gedrungene Feuchtigkeit nur langfam verdunftet und fchliefslich auch den Weg durch die Dachpappe finden wird.

In die Fachausfüllung gebettete Eifentheile werden, wenn nicht jedes Eindringen von Feuchtigkeit mit völliger Sicherheit ausgefchloffen ift, angeftrichen, getheert oder am beften verzinkt, da in feuchten Fachausfüllungen ein ganz aufserordentlich ftarkes

[148]) Siehe auch Theil III, Band 2, Heft 1 (S. 410 u. ff.) diefes »Handbuches«.

Roften ftattfindet, namentlich wenn es durch fauere Beimengungen der Füllung (Kohlenafche, unreiner Baufchutt) befördert wird.

Befonders wichtig ift die Sicherung dünner Bleche, alfo der Wellblech-, Tonnenblech- und Buckelplatten-Decken. Diefe Theile follen, nachdem fie vollkommen fertig für das Verlegen vorbereitet find, verzinkt werden, und wenn die Verzinkung durch die Verlegungsarbeiten (z. B. beim Nieten) verletzt wird, fo follen die verletzten Stellen durch Aufträufeln flüffigen Lothes gefichert werden. Ferner ift es zweckmäfsig, diefe Blechkörper über der Verzinkung noch mit einem dünnen Ueberzuge von weichem Afphalt oder Afphaltlack, heifs aufgetragen, zu verfehen. Diefer Ueberzug giebt zugleich das befte Mittel ab, die Nietungen und Fugen in den Auflagerungen auf die Träger zu decken und fo mit Gefälle zu verfehen, dafs das Waffer von hier leicht und fchnell nach den Entwäfferungsftellen laufen kann.

Die Entwäfferungsftellen find bei hängenden Buckelplatten die Scheitel, in welche Entwäfferungsröhrchen vor dem Verzinken eingefchraubt werden, bei nach oben gewölbten Buckelplatten die vier Ecken, welche aber dicht an den Nähten und den Trägern liegen und viermal fo viele Löcher erfordern; daher ift diefe Anordnung überall da mangelhaft, wo erheblichere Mengen Feuchtigkeit zu erwarten find, und es ift dann eine ganz befonders forgfältige Entwäfferungsanlage nach den Ecklöchern mittels Afphaltfchichten mit möglichft ftarkem Gefälle nöthig.

Tonnenbleche hängen ftets nach unten, müffen alfo im Scheitel entwäffert werden. Um Längsgefälle des Scheitels nach beftimmten Entwäfferungspunkten zu erhalten, bilde man die Tonnenbleche aus etwas trapezförmigen Blechen, fo dafs fie zwifchen den parallelen Trägern an einem Ende ftärkeren Pfeil als am anderen erhalten. In die tiefften Punkte werden auch hier vor dem Verzinken Entwäfferungsröhrchen eingefetzt. Lafchen auf der Innenfeite der Bleche find nur in den höchften Punkten diefer Entwäfferung zuläffig; fonft dürfen fie nur einfeitig aufsen angebracht werden, weil fie fonft kleine Dämme für die Entwäfferung bilden würden.

Wellbleche können Gefälle nach beftimmten Punkten erhalten, wenn man entweder die fie tragenden Balken verfchieden hoch legt oder das Wellblech auf den Balken verfchieden hoch auffüttert. Die Ueberdeckung der Tafeln mufs mit der Gefällrichtung laufen. Befonders wichtig ift das völlige Vermeiden der Anbringung von Nieten oder Schrauben in den Wellenthälern, da diefe den Wafferabzug in den Thälern hindern und die zugehörigen Löcher gewöhnlich den erften Angriffspunkt für den Roft bilden.

b) Feuchtigkeitsfchutz für Träger, Balken und Lagerhölzer.

110. Hölzerne Balken und Lagerhölzer.

Hölzerne Balken und Lagerhölzer find diejenigen Theile der Decken, welche des forgfamften Schutzes gegen Feuchtigkeit bedürfen. Von ganz befonderer Wichtigkeit ift die Auflagerung.

1) Bei Fachwerkwänden treten die Balkenköpfe frei zu Tage, find alfo mit ihrem Hirnholze dem Wetter ausgefetzt. Als Schutzmittel werden hier verwendet:

α) Ueberhängende Geftaltung der Balkenköpfe, welche oben mit ftark geneigtem Wafferfchlage, darunter Waffernafe, beginnt.

β) Benageln mit Blechkappen. Dabei foll das Blech nicht unmittelbar auf dem Hirnholze liegen, damit fich das Waffer nicht zwifchen Blech und Holz feft faugt, das Holz nun dauernd anfeuchtend.

γ) Benageln mit Hirnbrettern. Auch hier follen zwifchen die Balken und die

Hirnbretter Luftklötze gebracht werden, damit die Luft die Poren des Hirnholzes frei umfpülen kann; der fo entftandene Zwifchenraum wird nach oben durch ein Schutzbrett mit Wafferfchlag gefchloffen.

δ) Beftreichen der Hirnenden mit Theer oder fonftigen wafferdichten Decken ift bedenklich, weil man in folcher Weife leicht die Feuchtigkeit im Balken einfchliefst und diefen zum Stocken bringt.

2) Bei maffiven Wänden läfft man die Balkenköpfe nicht bis zur Aufsenfläche durchgreifen, fondern lagert fie nur in die Wand, um fie nach aufsen durch maffive Vormauerung zu fchützen. Da letztere aber bei den gewöhnlichen Wanddicken nur fchwach fein kann, und dann Feuchtigkeit in grofsen Mengen durchläfft, fo ift auf das forgfamfte darauf zu halten, dafs der in der Wand liegende Balkenkopf, abgefehen vom Unterlager, von allen Seiten von der Luft frei umfpült werden kann (Fig. 240). Vor der Hirnfläche foll eine wenigftens 2 cm weite Luftkammer frei bleiben, und die an die Seiten- und Oberfläche ftofsenden Steine follen, wie auch etwaiger Wandputz, 1 cm vom Balken entfernt bleiben, erftere wenigftens ohne Mörtel gegen den Balken gefetzt fein. Sehr gefährlich ift es, die Ummauerung in Mörtel gegen den Balken zu fetzen, weil man fo der Luftkammer die Lüftung nimmt.

Fig. 240.

Behufs künftlicher Lüftung der Balkenkammern wird empfohlen[149]), ein eifernes Rohr in die Mauer zu legen, fo dafs es alle Balkenkammern berührt, und in jeder einige Male anzubohren, andererfeits diefe Rohre in ein ftark ziehendes Lüftungs- oder Rauchrohr münden zu laffen und fo dauernd die Luft aus den Balkenkammern anzufaugen.

Zweckmäfsig ift auch die Auflagerung auf eine wafferdichte Zwifchenlage (Blech, Cement- oder Afphaltlage, Dachpappe, Dachfilz u. dergl.) und das Auskleiden der ganzen Balkenkammer mit einem Theer- oder Pechanftriche oder einer Afphaltlage. Unzuläffig ift auch hier das wafferdichte Beftreichen des Balkenkopfes; dagegen ift in gefährlicher feuchter und dumpfer Lage das Imprägniren der ganzen Balken fehr zu empfehlen.

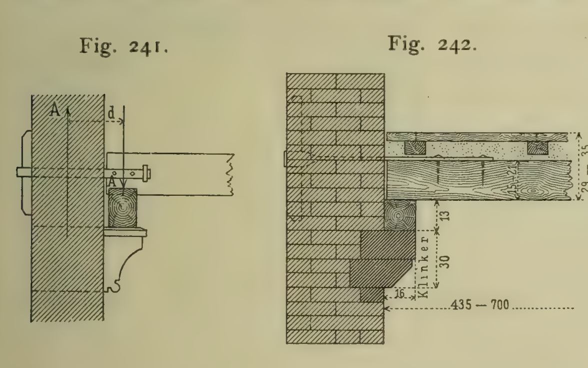


Fig. 241. Fig. 242.

Werden die Balken vor der Wand aufgelagert (Fig. 241 u. 242), fo ergiebt fich die Lüftung der Köpfe von felbft; hier bedarf höchftens das Lager auf Stein eines Schutzes gegen auffteigende Feuchtigkeit.

3) Zwifchenwände werden von den Balken ganz durchdrungen; hier foll auch trockene Ummauerung oder ein Luftraum um den Balken und nöthigenfalls Wafferfchutz des Lagers verwendet werden.

Die auffteigende Mauerfeuchtigkeit ift namentlich bei tiefer Lage der Balken zu fürchten, wefshalb befonderer Schutz der Lagerflächen in Balkenkellern, fo wie der über nicht ganz trockenen Kellerkappen eingebetteten Lagerhölzer die Regel bilden follte.

[149]) Siehe: Deutfche Bauz. 1890, S. 551.

Eine auch unter ungünſtigen Verhältniſſen völlig gegen Feuchtigkeit geſicherte Fuſsbodenlagerung in ſchlechter Bettung nach *Klette* [150]) iſt in Fig. 243 dargeſtellt.

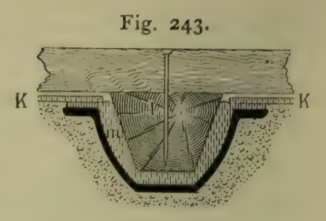
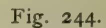
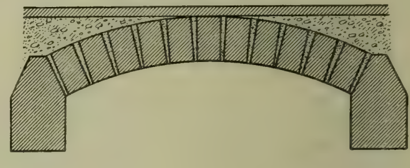


Fig. 243.

In gut angeſtrichene Belageiſen Nr. 6, welche in die Bettung gelegt ſind, lagert man trapezförmige Holzlager *l* ſo ein, daſs ſie nach oben etwas gegen die Belageiſen vorſtehen, indem man ſie in eine Füllung *m* aus heiſsem, weichem Guſsaſphalt eindrückt; den vorquellenden Aſphalt ſtreicht man über den Flanſchen der Belageiſen aus und drückt in den thunlichſt noch weichen Aſphalt eine die ganze Bettung abdeckende Lage *k* von Aſphaltfilz (z. B. ſolchen von *Büſscher & Hofmann* in Neuſtadt-Eberswalde) ein, deren Ränder gegen die Aſphaltfüllung *m* noch durch einen heiſsen Anſtrich aus Pech und Goudron abgedichtet werden. Die auf die Holzlager genagelten Bretter liegen auf der Lage *k* von Aſphaltfilz nicht völlig auf, ſo daſs noch eine dünne abſondernde Luftſchicht überbleibt. Die Ränder des Fuſsbodens werden gegen die unter den hier gedachten Verhältniſſen wohl auch feuchten Wände mittels Aſphaltfuge abgeſondert, und ſo ruhen alle Holztheile in einem für die Feuchtigkeit vollkommen undurchdringlichen Bette.

Die Balken ſollen auf ihre ganze Länge thunlichſt trocken und luftig liegen; hieraus hauptſächlich erklärt ſich das oben geſtellte Verlangen nach reiner, trockener und poröſer Ausfüllung der Balkenfache. Hat man vollkommen befriedigenden Füllſtoff nicht zur Verfügung, ſo iſt das Anſtreichen der vier Balkenſeiten mit Holztheer zu empfehlen. Bei Balkenlagen des nicht unterkellerten Erdgeſchoſſes muſs aus gleichem Grunde ein 0,8 m bis 1,0 m hoher, durch die Grundmauern nach auſsen gelüfteter Hohlraum unter der Balkenlage geſchaffen werden; in den Erdboden gelagerte Balken faulen ohne beſondere Vorſichtsmaſsregeln nach ganz kurzer Zeit. Auch bei Balkenkellern muſs wegen des vergleichsweiſe hohen Feuchtigkeitsgehaltes der Kellerluft für dauernde Lüftung geſorgt werden.

Unſorgfältige Behandlung der Balkenlagerung bildet meiſt den Grund zur Entwickelung des Hausſchwamms [151]), deſſen Beſeitigung nach dem einmal eingetretenen Entſtehen ſicher nur durch völligen Umbau der angegriffenen Theile zu erreichen iſt. Der ſicherſte Schutz iſt das Vorbeugen durch trockene luftige Lagerung; daher iſt auch die maſſive Auswölbung der Balkenfache nach Fig. 244 nicht zu empfehlen.



Fig. 244.

III. Eiſerne Träger.

Eiſerne Träger ſind den Einflüſſen der Feuchtigkeit nicht in dem Maſse unterworfen, wie Holzbalken, und ſollen daher an ungünſtigen Stellen dieſe erſetzen. Sie ſind jedoch vor Roſt durch waſſerdichten Anſtrich zu ſchützen, welcher am beſten aus einer Deckung mit heiſsem Leinöl in der Fabrik, einer Grundirung mit Bleimennige nach der Abnahme, einer zweiten nach dem Verlegen und einem doppelten oder dreifachen Oelfarbenanſtriche nach Fertigſtellung der Eiſen-Conſtruction beſteht. Jedem Anſtriche muſs gründliche Reinigung vorangehen. In völlig geſicherter Lage unterbleibt der Anſtrich. Da, wo die Träger dauernd der Feuchtigkeit ausgeſetzt ſind, z. B. in mit Dämpfen gefüllten Räumen, iſt dieſer Schutz meiſt ungenügend; die Träger ſollen dann verzinkt werden, ein Verfahren, das von vielen Fabriken jetzt bis zu 10 m Stücklänge ausgeführt wird. Die Verzinkung ſoll als letzte vorbereitende Arbeit vorgenommen werden, damit etwaige Nietungen, Lochungen u. dergl.

150) D. R.-P. Nr. 31263 u. 36769.

151) Siehe: Theil I, Band 1, erſte Hälfte (Art. 147, S. 176) dieſes »Handbuches« — ferner: Centralbl. d. Bauverw. 1884, S. 297 — endlich: Deutſche Bauz. 1888, S. 115.

den Zinküberzug mit erhalten. Es mag hier noch das bei Mafchinentheilen fchon vielfach verwendete Verfahren von *Bower-Barff*[152]) erwähnt werden, nach welchem durch Zuführen von Wafferdampf und heifser Luft zu dem in einem Ofen erhitzten Eifen eine feft haftende und weitere Oxydation ausfchliefsende Schicht von Magnetoxydul ($Fe_4 O_3$) auf der Oberfläche gebildet wird. Die bisherigen Erfahrungen laffen daffelbe auch für nicht weiter zu bearbeitende fchwere eiferne Bautheile geeignet erfcheinen.

112.
Eifentheile in Cement gelagert.

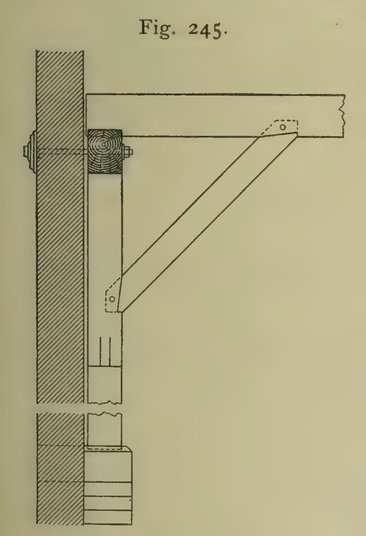
Bezüglich der ganz in Cement-Mörtel oder Cement-Beton eingelagerten Eifentheile, z. B. der Träger in Decken aus Cement-Beton oder Cement-Mauerwerk, ift die Beobachtung gemacht worden, dafs fie felbft in etwas feuchter Lage vor dem Roften gefchützt find, wahrfcheinlich weil fich das Roften hindernde Verbindungen des Eifens mit den Beftandtheilen des Cementes auf der Eifenoberfläche bilden. Diefe Erfcheinung ift befonders wichtig für die Drähte in *Rabitz-* oder *Monier-*Platten. Man hat kein Bedenken getragen, eiferne Träger felbft dann in Beton vollkommen unzugänglich einzubetten, wenn fie auch nach ihrer Lage dauernd der Feuchtigkeit ausgefetzt find; ja man hat bei bedeutenden Bauwerken in diefer vollftändigen Einbettung das befte Mittel zum Schutze unangeftrichener und nicht verzinkter Eifentheile vor dem Rofte erkannt[153]).

c) Feuchtigkeitsfchutz für die Freiftützen.

113.
Hölzerne Freiftützen.

Freiftützen bedürfen eines Schutzes gegen Feuchtigkeit vorwiegend, wenn fie aus Holz beftehen. Kann ein erhebliches Mafs von Feuchtigkeit den Stützenfufs erreichen, fo ift die Verwendung von Holz ausgefchloffen. Da die Stützen meift fteinerne Sockel erhalten, fo find fie der Einwirkung der im Mauerwerk ftets enthaltenen Feuchtigkeit immer ausgefetzt, und zwar mit der unteren Hirnfläche, welche dafür befonders empfindlich ift. Man foll daher die Stützen nur unter günftigften Verhältniffen unmittelbar auf den Stein fetzen; im Allgemeinen foll eine Zwifchenlage zwifchen beide gebracht werden, welche am beften aus einer Kupfer- oder Bleiplatte, weniger gut aus einem kurzen Stücke Querholz befteht.

Fig. 245.



Im Freien mufs man für fchnellen Abflufs des Tagewaffers vom Fufse forgen, daher die unterliegenden Steine vom Umfange des Holzes aus ftark abfchrägen und die Stütze nicht, wie es fonft die Regel bildet, in eine Vertiefung des fteinernen Unterbaues ftellen oder fie mit diefem verdollen, wie dies für gefchützte Lage z. B. in Fig. 245 dargeftellt ift.

114.
Eiferne Freiftützen.

Hohle eiferne Stützen können vom Waffer gefährdet werden, wenn fie, dem Frofte ausgefetzt, als Abfallrohre benutzt oder fo angeordnet find, dafs unbeabfichtigter Weife Waffer hineingelangen kann. Die Benutzung als Abfallrohr ift nicht zu empfehlen; läfft fie fich nicht umgehen, fo fetze man ein befonderes, wo möglich gufseifernes Abfallrohr in die Stütze, laffe diefe unten völlig offen, und

152) Siehe: Theil I, Band 1, erfte Hälfte (Art. 209, S. 205) diefes »Handbuches« — ferner: Zeitfchr. d. Ver. deutfch. Ing. 1883, S. 141.

153) Siehe: *M. am Ende. Agricultural hall, London. Engineer,* Bd. 62, S. 399.

durchbohre ihre Wandungen mit kleinen Löchern in nicht zu weiten Abſtänden, um bei etwaiger Undichtigkeit dem Waſſer ſchnellen Abfluſs und etwa ſich bildendem Eiſe Gelegenheit zur Ausdehnung zu geben, da letzteres anderenfalls die Säule zerſprengt. Auch wenn keine Waſſerabführung durch die Säule geht, bohre man Entwäſſerungslöcher ſo ein, daſs zufällig, z. B. während des Baues, hineingelangendes Waſſer freien Abfluſs findet[154]).

d) Schutzmittel gegen Schalldurchläſſigkeit.

115. Hellhörigkeit.

In den meiſten Fällen iſt die Verbreitung und Fortpflanzung des Schalles, die ſog. Hellhörigkeit der Decken-Conſtructionen, ſtörend; am läſtigſten dürfte ſie wohl in Wohnhäuſern ſein, weil die verſchiedenen Geſchoſſe in der Regel nicht von einer und derſelben, ſondern von verſchiedenen Familien bewohnt werden.

Es wurde bereits in Theil III, Band 2, Heft 1 (Art. 295, S. 372) dieſes »Handbuches« — bei Beſprechung der Schalldurchläſſigkeit von Wänden — geſagt, daſs in der fraglichen Richtung verhältniſsmäſsig wenige Erfahrungen vorliegen; die Phyſik hat ſich mit der Prüfung der Stoffe auf ihre Schalldurchläſſigkeit noch wenig oder gar nicht beſchäftigt.

Aeuſserſt ungünſtig ſind bezüglich der Schalldurchläſſigkeit die am häufigſten angewandten hölzernen Balkendecken mit darüber befindlichem Holzfuſsboden, und unter dieſen ſind es beſonders die Balkenlagen ohne Ausfüllung der Fache, welche in dieſem Sinne am ſtörendſten ſind. Allein auch bei gewiſſen eiſernen Decken-Conſtructionen ſind Verbreitung und Fortpflanzung des Schalles ſehr ſtark und eben ſo bei Fuſsböden, welche aus einfachen, dünnen, nicht durch unelaſtiſche Stoffe am Schwingen verhinderten Mörtelplatten beſtehen.

So weit die vorliegenden Erfahrungen ausreichen, giebt es — abgeſehen von der Herſtellung ſehr ſchwerer und daher durch mäſsige Kräfte nicht in Schwingungen zu verſetzender Decken, wie z. B. der ganze Windelboden bei Holzbalken (ſiehe Art. 30, S. 41) oder Ausrollen mit vollen Backſteinen (ſiehe Art. 61, S. 63) — vier Hauptmittel zur Bekämpfung der Schalldurchläſſigkeit von Decken:

1) Abſonderung des Fuſsbodens von der Balkenlage,

2) Abſonderung der Decke im engeren Sinne vom Gebälke,

3) Anordnung von Hohlräumen und

4) Zuſammenſetzung voller Decken aus Lagen, welche ſich gegenſeitig die Eigenſchaft nachtönender Platten nehmen.

116. Abſonderung des Fuſsbodens von der Balkenlage.

Durch das erſte Mittel ſoll verhindert werden, daſs die Decken-Conſtruction aus einem einzigen dichten, zuſammenhängenden Körper beſtehe; man ſoll vielmehr Fuſsboden und Balkenlage durch geeignete Stoffe von einander abſondern. Dies kann in zweifacher Weiſe geſchehen.

α) Man lege die Fuſsbodenbretter nicht unmittelbar auf die tragenden Theile, ſondern ordne über dieſen zunächſt eine aus einer poröſen Maſſe beſtehende Auffüllung an, verlege in dieſe thunlichſt ſatt beſondere Lagerhölzer und befeſtige die Fuſsbodenbretter erſt auf dieſen. Zu dieſem Ende iſt es nothwendig, daſs man bei Holzbalkenlagen einen beſonderen Bretter-Zwiſchenboden herſtellt, auf dem die Auffüllung lagert. Dies kann entweder nach Art der Einſchubböden (ſiehe Art. 32, S. 42) geſchehen oder in der in Oeſterreich üblichen Conſtructionsweiſe der Decken;

[154]) Siehe: Deutſche Bauz. 1890, S. 608.

dort kommt auf die Tragbalken zunächſt ein ſog. Sturzboden (aus ungehobelten Brettern) zu liegen, auf den die Auffüllung aufgebracht wird.

Für die Auffüllung empfiehlt ſich Sand oder Steinkohlenlöſch[155]). Je höher dieſe Schicht iſt, deſto günſtiger iſt die Wirkung; unter 10 cm ſollte man kaum gehen; doch wird man nur ſelten eine noch gröſsere Höhe wählen, weil ſonſt die Conſtructionshöhe, welche die Decke in Anſpruch nimmt, eine zu bedeutende wird.

Muſter von Anordnungen der hier vorgeführten Art für die verſchiedenartigſten Decken-Conſtructionen zeigen Fig. 51 (S. 40), 84 (S. 52), 93 (S. 55), 94 (S. 56), 96 (S. 58), 106 (S. 63), 107 (S. 64) u. 150 (S. 81).

β) Will man die eben beſchriebene, immerhin mit nicht unbedeutenden Koſten verbundene Anordnung umgehen, ſo kann man der Hellhörigkeit der Decken wohl auch dadurch begegnen, daſs man zwiſchen Fuſsbodenbrettern und Gebälkoberkante Pappdeckel, Filz, Iſolir-Haarfilz etc. anbringt. Dieſes Mittel iſt allerdings weniger wirkſam, als das erſtgedachte. Eine Anordnung dieſer Art, unter vollſtändigem Wegfall der Füllung, iſt nach dem Muſter leichter amerikaniſcher Holzhäuſer in Fig. 74 (S. 47) dargeſtellt.

117.
Abſonderung der Decke im engeren Sinne vom Gebälke.

Das zweite der angegebenen Hauptmittel beruht darauf, daſs man die Decke im engeren Sinne von der Balkenlage völlig abſondert, mit anderen Worten, daſs man zwiſchen beiden einen Hohlraum anordnet. Dieſe Abſonderung muſs eine vollſtändige ſein, d. h. die einzelnen Theile dieſer zwei Schichten dürfen an keiner Stelle mit einander in Zuſammenhang ſtehen; würde letzteres der Fall ſein, ſo würde der Hohlraum nicht nur nicht vortheilhaft, ſondern ſogar ſchädlich auftreten; er würde als Reſonanzkaſten wirken und den fortgepflanzten Schall verſtärken. Aus gleichem Grunde müſſen in den Decken-Conſtructionen überhaupt alle Hohlräume vermieden werden, welche eine gleiche Wirkung hervorbringen könnten; deſshalb unterſtopfe man auch die Fuſsbodenbretter auf das ſorgfältigſte. Eine vollſtändige Abſonderung von Gebälk und Decke wird man allerdings niemals erzielen können, weil die Wände, auf denen die Decken ruhen, ſtets eine gewiſſe Verbindung dieſer beiden Schichten hervorrufen werden; man muſs deſshalb dahin trachten, daſs dieſelbe möglichſt unſchädlich ſei.

Ein Verfahren, die in Rede ſtehende Abſonderung zu erzielen, wurde bereits in Art. 21 (S. 35) mitgetheilt. Dort wurde aus anderen Gründen das in Fig. 40 (S. 35) dargeſtellte Verfahren als zweckmäſsig bezeichnet, wonach die Deckenſchalung nicht an die Unterflächen der eigentlichen Tragbalken, ſondern an beſondere ſog. Fehl- oder Blindbalken genagelt wird; die Unterfläche der letzteren iſt um einige Centimeter tiefer, als jene der erſteren gelegen[156]).

Ein anderes Verfahren zu gleichem Zwecke, welches auch für eiſerne Decken-Conſtructionen anwendbar iſt, beſteht darin, daſs man in einigem Abſtande unter dem Gebälke eine zweite, leicht ausführbare Decke, die wenig Conſtructionshöhe in Anſpruch nimmt, anbringt. Hierzu ſind *Rabitz*- und *Monier*-Decken (ſiehe Art. 45, S. 52 u. Art. 46, S. 53) beſonders geeignet, und es kann dieſes Mittel auch bei ſchon beſtehenden Decken, welche ſtark ſchalldurchläſſig ſind, in Anwendung kommen.

Die Verwendung der *Rabitz*-Platte als nahezu vollſtändig unabhängigen Conſtructionstheiles unter einer Balkenlage iſt durch Fig. 85 (S. 52) erläutert; auch die

[155]) Von den Keſſelfeuerungen herrührende Schlacken und Steinkohlenaſche, möglichſt ruſsfrei. — Vergl. hierüber auch Art. 27 (S. 39).

[156]) Vergl.: Deutſche Bauz. 1892, S. 119.

in erfter Linie aus der Rückficht auf Feuerficherheit hervorgegangene amerikanifche Anordnung in Fig. 74 (S. 47) kann hier angeführt werden. Letztere kann jedoch ohne eine gewiffe Verbindung der Decke im engeren Sinne mit den Balken durch die Nägel nicht beftehen, und auch eine ganz felbftändige dünne *Rabitz*- oder *Monier*-Decke würde des ftarken Durchhängens wegen auf Schwierigkeiten ftofsen, wefshalb auch fie wenigftens durch Hängefchlingen aus Draht mit den Balken in Verbindung zu bringen fein wird (fiehe Fig. 85, S. 52). Damit die untergehängte Decke dann nicht als Schallboden wirke, decke man fie mit einer dünnen Schicht eines fchlechten Schallleiters (Sand, Afche, Kiefelguhr, Torfgrufs) ab (fiehe Fig. 96 u. 97, S. 58 u. 59). Auch Samenflügel find für diefen Zweck empfohlen[156]); fie werden jedoch als organifcher Stoff und wegen ihrer Feuergefährlichkeit von anderer Seite bekämpft[157]).

118. Anordnung von Hohlräumen.

Die Anordnung von Hohlräumen in einer fonft vollen Decke als drittes Mittel kommt namentlich bei den aus Thon gebrannten Terracotten oder Hohlziegeln für die Fachfüllungen nach den verfchiedenen Muftern (fiehe Fig. 80 u. 81 [S. 51], 115 [S. 68], 120 [S. 70], 121 bis 124 [S. 71]) in Frage. Diefe Hohlräume wirken in der befprochenen Richtung weniger unmittelbar, als mittelbar dadurch, dafs fie einerfeits die Fufsbodenlage von der Deckenlage in mehr oder weniger wirkfamer Weife von einander abfondern, andererfeits die Herftellung einer fehr dicken und dabei doch nicht allzu fchweren Decke aus einem vergleichsweife fchlechten Schallleiter ermöglichen. Neben der grofsen Dicke verhindern auch die die Gleichmäfsigkeit des Gefüges ftörenden Fugen, welche die ganze Decke durchfetzen, eine Schallübertragung durch Schwingungen, wie bei einem Schallboden.

119. Zufammenfetzung aus mehreren Lagen.

Das vierte Mittel, die Zufammenfetzung aus mehreren Lagen, kommt namentlich da zur Verwendung, wo die Fachfüllungen aus plattenartigen Körpern beftehen, alfo namentlich bei den Betondecken. Platten von in fich gleichartigem Gefüge geben felbft bei ziemlicher Stärke gute Schallböden, namentlich bei grofser Feftigkeit. Man kann fchalldämpfend auf fie einwirken, wenn man fie mit einer unelaftifchen, weicheren Schicht auf die ganze Ausdehnung in innige Berührung bringt, welche das Entftehen regelmäfsiger Schwingungen verhindert. Als ein für Wohnräume häufig fchon ziemlich erfolgreiches Mittel ift hier das Belegen einer dünnen Plattendecke aus Beton mit Korkteppich aufzuführen.

In wirkfamerer Geftalt tritt diefes Mittel auf, wenn die fefte tragende und gewöhnlich ftark fchallende Platte zunächft mit einer lofen, den Schall fchlecht leitenden Schicht bedeckt wird, zu der man z. B. ganz mageren Schlacken-Beton verwenden kann. Anordnungen folcher Art für verfchiedene Decken-Conftructionen zeigen Fig. 118 (S. 70), 150 bis 153 (S. 81), 135 (S. 76) u. 82 (S. 51). Noch wirkfamer wird diefes Mittel fein, wenn man die lofe, dumpfe Schicht auch oben wieder mit einer fefteren für die Fufsbodenausbildung abdeckt, da dann die gegenfeitige Störung der Schwingungen der dünnen Platten in zwei Ebenen ftattfindet. Eine derartige Ausführung ift in Fig. 230 (S. 128) angedeutet.

---

[157]) Siehe: Deutfche Bauz. 1892, S. 139.

B. Gewölbte Decken.

(Gewölbe.)

Von Carl Körner.

8. Kapitel.

Allgemeines.

120.
Erklärung.

Ein Gewölbe ift ein Syftem von einzelnen, befonders geftalteten und nach beftimmten Gefetzen vereinigten Körpern, welche fich in ihren Seitenflächen an einander fügen und in ihrer Gefammtheit fich gegen fefte, felbftändig auftretende Stützkörper in der Weife fetzen, dafs fie den Raum zwifchen diefen Stützkörpern nicht allein frei fchwebend überdecken, fondern je nach Umftänden auch fähig find, noch fremde Laften mit Sicherheit zu tragen.

Im Allgemeinen ift vorwiegend Steinmaterial, natürliches oder künftliches, für die Gewölbkörper in Betracht zu ziehen, fo dafs ein Gewölbe als ein fog. maffives Bauwerk anzufehen ift.

Hiernach heifsen gewölbte Decken auch Steindecken oder maffive Decken.

121.
Gefchichtliches.

Die Kunft der Herrichtung von Gewölben, wie folche fchon in grauer Vorzeit bei den verfchiedenften Anlagen, wie bei Canälen, Thoren, Brücken oder bei den Deckenbildungen von Grabcapellen, Schatzhäufern, Thermen, Tempeln u. f. w. auftreten, mufs als eine fehr alte gelten, wie die neueren Forfchungen auf kunftgefchichtlichem Gebiete ergeben haben und worüber bereits in Theil II, Band 1 diefes »Handbuches« das Nähere mitgetheilt worden ift.

Die eigentliche höhere Entwickelung des Gewölbebaues ift jedoch den Römern zuzufchreiben. Sie waren fähig, unter Verwendung des ihnen reichlich zu Gebote ftehenden, ausgezeichneten Baumaterials und unter gefchickter Verwerthung der ihnen im Bau von Gewölben überkommenen Kenntniffe die engeren Grenzen der Bildung derartiger Conftructionen zu überfchreiten und Gewölbebauten zu fchaffen, welche noch heute felbft in ihren Reften Bewunderung erregen und den Anfpruch erheben, zu den Grofs-Conftructionen gezählt zu werden. Weifen diefelben auch eine grofse Anhäufung von Maffen auf, die unter einander verkittet find, fo ift die Kühnheit, mit welcher die Ausführung derfelben vorgenommen wurde, doch zugleich auch wieder ein lebendiger Anftofs zu neuerem Schaffen geworden.

Die byzantinifche Baukunft hat fich die Kunft der Römer zu Nutzen gemacht und ihren Gewölbebauten namentlich durch geringere Maffenbildung einen fchwungvollen Ausdruck zu geben gewufft und fomit einen weiteren Fortfchritt im Gewölbebau veranlafft, welcher fich denn auch fpäter in der romanifchen Baukunft wiederum mit zur Geltung gebracht hat. Blieb in der romanifchen Baukunft der Gewölbebau in Folge der Grundrifsanordnung ihrer Bafilika mit vorwiegend quadratifcher Theilung in verhältnifsmäfsig einfacher Ausbildung, fo konnte beim Verlaffen diefer Grundrifsform ein weiterer Fortfchritt in der Anlage und Ausführung der gewölbten Decke nicht unterbleiben. Das Zufammenfügen von quadratifchen mit rechteckigen Grundrifstheilungen der chriftlichen Kirchen befeitigte die befchränktere Anordnung des Grundriffes der romanifchen Bafilika und forderte den denkenden Baumeifter des Mittelalters auf, ein befonderes Gewölbefyftem zu erfinnen, welches in zweckmäfsiger, ficherer, leichter und fchöner Weife fein reich gegliedertes Bauwerk im Inneren überdeckte. Den Baumeiftern der gothifchen Baukunft ift es gelungen, ein derartiges Wölbfyftem zu fchaffen. Erhabene Meifterwerke find in den Domen diefer Bauzeit als ftrahlende Vorbilder der Wölbkunft geboten; ftets und ftändig werden fie Bewunderung und Nachahmung finden!

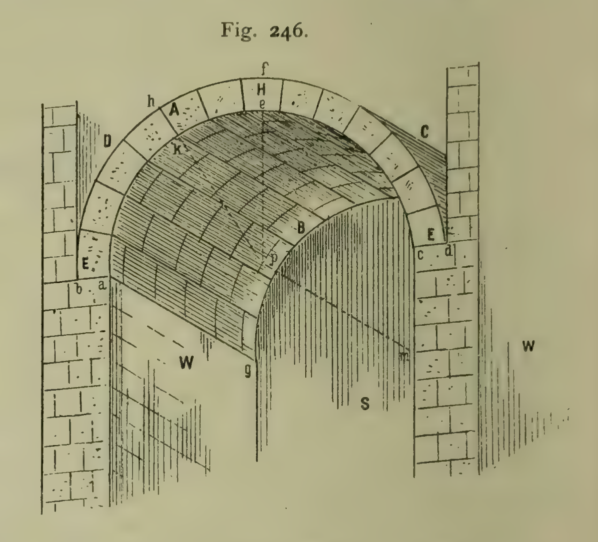
Von diefem Zeitabfchnitt an haben neue Wölbfyfteme für Grofs-Conftructionen fich nicht mehr gezeigt. Für Decken als Grofs-Conftructionen, namentlich für Profanbauten, ift das Steinmaterial durch das Eifen zurückgedrängt, und bei den mit gewaltigen Abmeffungen behafteten Raumüberdeckungen hat diefes Material die Führung übernehmen müffen.

Allein für Kirchen- und Profanbauten von kleinerem oder gröfserem Umfange werden gewölbte Decken nach wie vor in geeigneter Weife in Anwendung gebracht.

122.
Beftandtheile und Bezeichnungen.

Die Beftandtheile der »gewölbten Decke« oder kurz des »Gewölbes« haben Benennungen erhalten, welche im Folgenden nach Fig. 246 zufammengeftellt find.

Fig. 246.



1) Der Gewölbkörper oder das eigentliche Gewölbe *abcd* ift die Gefammtheit der die Decke des Raumes bildenden einzelnen Steine.

2) Widerlagsmauern oder Widerlager *W* find die das Gewölbe ftützenden Mauerkörper; fie haben dem durch den Gewölbkörper entftehenden Gewölbfchube ficheren Widerftand zu leiften.

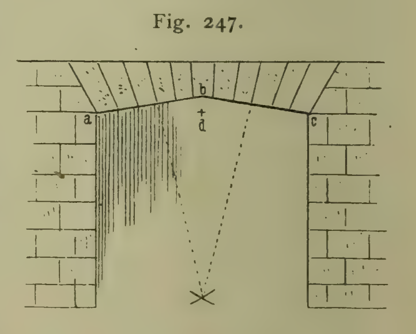
3) Stirnmauern oder Schildmauern *S* find feitliche Begrenzungsmauern eines mit einem Gewölbe überdeckten Raumes, welche nicht als Widerlager auftreten. Sind folche Schildmauern nicht vorhanden, fo nennt man das Gewölbe felbft ein offenes Gewölbe.

4) Laibung *B* ift die innere oder untere Gewölbfläche.

5) Rücken *C* ift die äufsere oder obere Gewölbfläche.

6) Gewölblinie, Bogenlinie oder Gewölbbogen ift eine gefetzmäfsig gebildete krumme Linie *aec*, bezw. *bfd*, welche die Gewölbflächen *B*, bezw. *C* erzeugt. Ift diefe Gewölblinie eine gerade Linie, fo entfteht ein fcheitrechtes oder gerades Gewölbe (fcheitrechter Bogen, Sturz); ift diefelbe eine gerade gebrochene Linie *abc* (Fig. 247), fo erhält man das fcheitrechte Gewölbe mit Stich; die Höhe des Stiches ift *db*.

Fig. 247.



7) Leitlinie *pm* ift eine gerade Linie oder eine gefetzmäfsig gebildete krumme Linie, an welcher die Ebene der Gewölblinie der beabfichtigten Erzeugung der Gewölbfläche gemäfs fortbewegt, bezw. um welche jene Ebene gedreht werden kann. Die Leitlinie wird zur Gewölbaxe, wenn bei jeder neuen Stellung der Ebene der Gewölblinie die einander entfprechenden Punkte der Bogenlinie auch ftets den ihnen zugewiefenen entfprechenden Abftand von diefer Leitlinie bekommen. Die Länge der Gewölbaxe beftimmt die Länge des Gewölbes. In einzelnen Fällen kann auch eine gerade Linie die Erzeugende und eine gefetzmäfsig gebildete krumme Linie die Leitlinie der Gewölbflächen werden.

8) Scheitelpunkt (*e* in Fig. 246, *b* in Fig. 247) ift derjenige Punkt der inneren Gewölblinie, für welchen eine höchfte Tangente parallel zur geraden Verbindungslinie der Kämpferpunkte feft gelegt werden kann.

9) Scheitellinie ift diejenige Linie, deren Elemente die fämmtlichen Scheitelpunkte der inneren Gewölbfläche find.

10) Gewölbanfang oder Gewölbfufs *ab*, bezw. *cd* (Fig. 246) ift der untere, unmittelbar auf dem Widerlager beginnende Gewölbtheil.

11) Widerlagsfläche oder Gewölbefohle ift diejenige Fläche, deren Elemente durch die Gefammtheit des Gewölbfufses gebildet find.

12) Kämpferlinien *ag* find die Schnittlinien der inneren Gewölbfläche mit der Widerlagsfläche. Die Elemente der Kämpferlinie find die Kämpferpunkte.

13) Spannweite oder Sprengweite *ac* ift die Entfernung der Kämpferpunkte in der Ebene der erzeugenden Bogenlinie.

14) Pfeilhöhe oder Stichhöhe *pe* ift die gröfste, lothrecht genommene Ordinate der erzeugenden Bogenlinie, von der Verbindungslinie der in ihrer Ebene gelegenen Kämpferpunkte aus gemeffen.

15) Pfeil- oder Stichverhältnifs ift die Zahl, entftanden aus der Mafszahl der Pfeilhöhe, getheilt durch die Mafszahl der Spannweite.

16) Haupt des Gewölbes oder Gewölbeftirn *abfedc* ift die Fläche zwifchen der inneren und äufseren Bogenlinie in der Ebene der Erzeugenden (Vor- und Hinterhaupt).

17) Gewölbfteine *A* find die befonders, meiftens keilförmig geftalteten und an einander gefügten Steinkörper. Befonders hervorzuhebende Gewölbfteine find die Anfänger oder Kämpferfteine *E*, welche unmittelbar auf dem Widerlager ruhen, und die Schlufsfteine *H*, welche die Scheitellinie enthalten.

18) Gewölbfugen *hk* find die Trennungen zwifchen den einzelnen Wölbfteinen in der Ebene der erzeugenden Bogenlinie; fie liefern die Theilung eines Gewölbes.

Flächen, welche das Gewölbe fchneiden, indem diefelben alle Fugen von der Befchaffenheit *hk* enthalten, heifsen Lagerfugenflächen, ihre Schnittlinien mit der Laibung, bezw. mit dem Rücken des Gewölbes heifsen Lagerfugenkanten oder kurzweg Lagerfugen. Dagegen nennt man Stofsfugenflächen diejenigen Schnittflächen, welche durch die Ebenen der erzeugenden Bogenlinie beim Durchfchnitt mit dem Gewölbkörper entftehen. Die Schnittlinien diefer Flächen mit der inneren, bezw. äufseren Gewölbfläche heifsen Stofsfugenkanten oder kurzweg Stofsfugen. In einem Gewölbe darf niemals eine fog. Schlufsfuge, d. h. eine Fuge, welche die Scheitelpunkte enthalten würde, vorhanden fein.

Die Lagerfugenflächen begrenzen die Wölbfchichten oder Wölbfcharen. Die Stofsfugenflächen theilen die einzelnen Wölbfchichten in Gewölbfteine ab. Die Kämpferfchicht enthält fämmtliche Kämpferfteine; die Schlufsfteinfchicht wird aus fämmtlichen Schlufsfteinen gebildet.

19) Gewölbftärke oder Gewölbdicke wird ausgedrückt durch das Längenmafs der Gewölbfugen, im Scheitel durch das Höhenmafs in der Mitte des Schlufsfteines.

20) Gewölbefchenkel heifsen die rechts und links von einer durch die Scheitellinie gelegten lothrechten Ebene befindlichen Gewölbftücke.

21) Gewölbzwickel *D* nennt man den Zwifchenraum vom Gewölbrücken bis zu der über der Kämpferlinie aufgeführten Widerlagsmauer.

Alle Bezeichnungen, welche hier für ein Gewölbe gegeben ſind, werden auch für die ſog. Mauerbogen, Thür- oder Fenſterbogen (ſiehe hierüber Theil III, Band 2, Heft 1 (Abth. III, Abſchn. 1, B: Wand-Oeffnungen) dieſes »Handbuches« unter b), ſo wie für die ſog. Strebebogen beibehalten, d. h. für Gewölbe von geringer Längenabmeſſung, von denen erſtere zum oberen Abſchluſs von Maueröffnungen, letztere zur beſonderen Abſteifung von Gewölbwiderlagern dienen.

123. Eintheilung der gewölbten Decken.

Im Hochbauweſen werden Gewölbe vorzugsweiſe zum oberen Abſchluſs von ſeitlich durch Mauerwerk begrenzten Räumen, alſo zur Herſtellung von raumabſchlieſsenden Decken in Anwendung gebracht. Geſtaltung des Grundriſſes, Raumanordnung und Raumtheilung ſetzen ſich mit der Deckenbildung der Räume jederzeit in ein Abhängigkeitsverhältniſs.

Bei der Mannigfaltigkeit in der Durchbildung des Grundriſſes; bei der Verſchiedenheit zwiſchen den Mauermaſſen, welche als feſte, dem Gewölbſchube widerſtehende Stützkörper bei der Raumanordnung in Frage kommen, und den Mauerkörpern, welche nur als ſeitliche Begrenzungen des Raumes auftreten; bei der eingehenden Berückſichtigung der beſonderen Eigenſchaften des zu Gebote ſtehenden Mauer- und Wölbmaterials; bei der Abwägung der Belaſtung der zu ſchaffenden Baukörper — haben ſich für die Formgebung und Conſtruction der den Räumen zuzuweiſenden »gewölbten Decken« zahlreiche Geſichtspunkte und Forderungen ergeben, deren vollſtändige, richtige und zweckmäſsige Beachtung und Erfüllung die hervorragendſte Aufgabe im Bau der gewölbten Decken iſt.

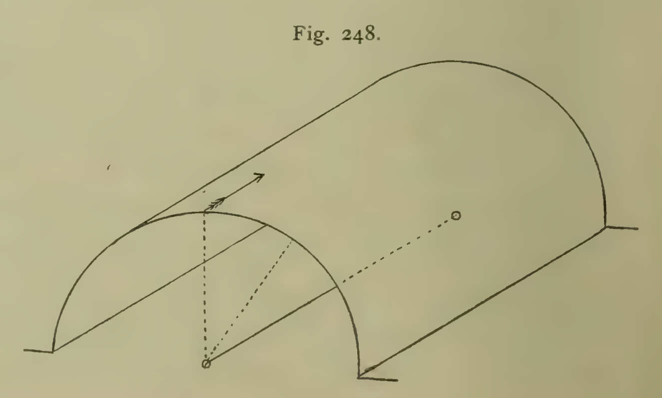
Die gewölbten Decken im Hochbauweſen zeigen im Vergleich mit den meiſtens offenen Gewölben des Ingenieurbauweſens einen weit gröſseren Reichthum an Form und an Gliederung der Anlage, ſo daſs die eigentliche Gewölbetechnik vorzugsweiſe dem Gebiete des Hochbauweſens angehört.

Um bei der geſchilderten Vielſeitigkeit der Anordnung gewölbter Decken die Conſtruction derſelben in überſichtlicher Weiſe behandeln zu können, theilt man die für ſolche Decken maſsgebend werdenden Gewölbe in beſondere Gruppen ein. So vielfach nun die Zahl dieſer Gruppen gebildet werden könnte, wenn auch die Eigenſchaften von Gewölbformen mit berückſichtigt werden ſollten, welche mehr in zweiter Linie Beachtung verdienen, ſo iſt es doch möglich, die Gruppenzahl der in den Vordergrund tretenden Gewölbe weſentlich einzuſchränken.

Im Groſsen genommen ſind zwei Hauptgruppen der Gewölbe zu unterſcheiden: cylindriſche und ſphäriſche Gewölbe.

Bei den cylindriſchen Gewölben, für welche die Bezeichnung »cylindriſch« im weiteren Sinne des Wortes zu nehmen iſt, gehören die Laibungsflächen der Gewölbe im Allgemeinen Cylinderflächen an, welche entſtanden ſind durch Fortbewegen einer ebenen, geſetzmäſsig gebildeten krummen Linie als Erzeugende an einer geraden oder einer ebenen, bezw. räumlichen krummen Linie als Leitlinie, oder umgekehrt durch Fortbewegen einer

Fig. 248.



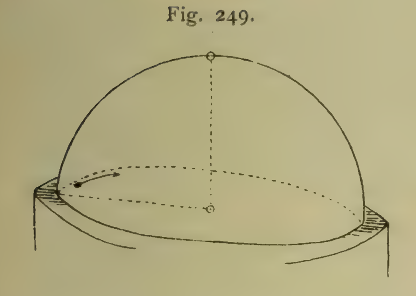


Fig. 249.

geraden oder einer krummen Linie als Erzeugende an einer ebenen krummen Linie als Leitlinie.

Bei den fphärifchen Gewölben entfteht die Laibungsfläche durch Drehen einer ebenen, gefetzmäfsig gebildeten krummen Linie um eine fefte gerade Linie.

In der That find aus dem einfachften cylindrifchen Gewölbe, durch einen Halbkreis in der Laibungsfläche erzeugt (Fig. 248), und aus dem einfachften fphärifchen Gewölbe, deffen Laibungsfläche einer Halbkugel (Fig. 249) angehört, die vielfachen fpäter entwickelten Gewölbformen entftanden.

Von den Hauptgruppen umfafft, benennt man die Glieder derfelben folgendermafsen:

a) Cylindrifche Gewölbe:
 1) das Tonnen- oder Kufengewölbe;
 2) das Kappengewölbe oder die preufsifche Kappe;
 3) das Kloftergewölbe;
 4) das Muldengewölbe;
 5) das Spiegelgewölbe;
 6) das Kreuzgewölbe.

Den Uebergang vom cylindrifchen Kreuzgewölbe zur Gruppe der fphärifchen Gewölbe bildet
 7) das gothifche Kreuzgewölbe, und
 8) das Fächergewölbe oder das Trichtergewölbe.

b) Sphärifche Gewölbe:
 9) das Kugel-, bezw. das Kuppelgewölbe, und
 10) das böhmifche Kappengewölbe.

Befondere Bildungen, deren Form wohl den Gewölbeformen entfpricht, deren Conftruction aber wefentlich von der charakteriftifchen Durchbildung und Ausführung des in der Erklärung der Gewölbe gegebenen Wefens derfelben abweicht, find:
 11) die Gufsgewölbe, aus einem Gufsmaterial (Gufsmörtel, Beton) gebildet, und
 12) die hängenden Gewölbe, wobei die ftützenden Widerlagstheile, von oben durch befondere Trag-Conftructionen aufgehängt, frei fchwebend gehalten werden.

Nach diefen Erörterungen follen die einzelnen Gewölbe in Rückficht auf ihre Geftaltung und Ausführung für die Anlage der gewölbten Decken näher befprochen werden.

Literatur

über »Gewölbe im Allgemeinen«.

LEYBOLD, L. Syftematifche Zufammenftellung der Gewölbeformen und Conftruction. Kaiferslautern 1856.

LEYBOLD, L. Syftematifche Zufammenftellung der Gewölbeformen und deren Conftruktion. ROMBERG's Zeitfchr. f. pract. Bauk. 1858, S. 3.

Vaulting and groining. Building news, Bd. 10, S. 951; Bd. 11, S. 22, 76, 112, 132.

DEJARDIN. *Routine de l'établiffement des voûtes, ou recueil de formules pratiques et de tables déterminant à priori et d'une manière élémentaire, le tracé, les dimenfions et le métrage des voûtes d'une efpèce quelconque.* Neue Ausg. Paris 1865.

BOSC, E. *Étude pratique ſur la conſtruction des voûtes. Gaz. des arch. et du bât.* 1877, S. 46, 71, 99, 111, 122.

GOTTGETREU, R. Beitrag zur geſchichtlichen Entwickelung der Gewölbe. Zeitſchr. f. Bauw. 1879, S. 91.
Ueber Bruchſteingewölbe in magerem Cementmörtel. Baugwks.-Ztg. 1883, S. 246.

MENZEL, C. A. Der Gewölbebau dargeſtellt in Bezug auf Entſtehung und Anwendung, Bau und Konſtruktion, Tragfähigkeit etc. mit Berückſichtigung der Wölbungen der Thür- und Fenſterſturze, der Rauchmäntel und der gewölbten Treppen. Herausg., verm. u. verb. von C. SCHWATLO. Halle 1866. — 2. Aufl. von A. C. MENZEL & G. FRANKE. 1875.

EAGLES, T. H. *On vaulting. Builder*, Bd. 32, S. 496. *Building news*, Bd. 26, S. 625, 633, 635.
Vaulting. Builder, Bd. 32, S. 1035.

Conſtruction der Gewölbe. HAARMANN's Zeitſchr. f. Bauhdw. 1876, S. 7, 21.

---

9. Kapitel.

Tonnen- oder Kufengewölbe.

a) Geſtaltung der Tonnengewölbe.

124.
Gerades Tonnengewölbe; Halbkreisgewölbe.

Das einfache Tonnen- oder Kufengewölbe beſitzt als Laibungsfläche die halbe Oberfläche eines geraden Kreiscylinders. Die Gewölbaxe ſteht alſo rechtwinkelig zur Ebene des erzeugenden Halbkreiſes, weſshalb ein ſolches Gewölbe auch ein »gerades Tonnengewölbe« genannt wird. Jeder Schnitt, parallel zu dieſer Ebene geführt, liefert wiederum denſelben Halbkreis und dieſem entſprechende Stoſsfugenkanten. Jede Ebene, welche durch die Gewölbaxe geführt wird, ſchneidet die Laibungsfläche in geraden, der Gewölbaxe parallelen Linien oder geraden Lagerfugenkanten. Die Pfeilhöhe dieſes Gewölbes iſt gleich der halben Spannweite desſelben, mithin wird das Pfeilverhältniſs $\frac{1}{2}$.

In Fig. 250 iſt ein gerades, einfaches Tonnengewölbe dargeſtellt.

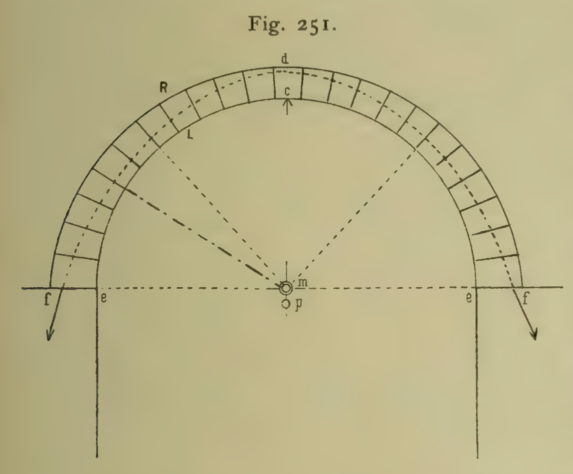
Fig. 250.

Die Rückenlinie deſſelben iſt ein zur inneren Wölblinie concentriſch geführter Halbkreis, ſo daſs für das Gewölbe überall die gleiche Gewölbſtärke vorhanden iſt. Die Widerlagskörper *A* ſtützen das Gewölbe. Die eine Widerlagsmauer iſt mit Oeffnungen verſehen, welche unterhalb der Kämpferſchicht *B* mit ſtarken Steinquadern *F*, »geraden Sturzen«, überdeckt ſind. Die Schildmauer *D* iſt durchbrochen und in ihrer Oeffnung oben mit einem halbkreisförmigen »Mauerbogen« abgeſchloſſen.

Die Stirn *BEB* des Gewölbes iſt durch die radial gerichteten Gewölbfugen ſo getheilt, daſs eine ungerade Anzahl gleich groſser Theilungen der Wölbſchichten *B*, *C*, *E* entſtanden, alſo eine Schluſsfuge vermieden und die Anordnung einer Schluſsſteinſchicht *E* ermöglicht iſt, welche zu beiden Seiten von ſymmetriſch liegenden Gewölbeſchenkeln begleitet wird.

Die Lagerfugenkanten treten als gerade Linien auf, welche vom Vorhaupt bis zum Hinterhaupt durchlaufen, während die Stofsfugenkanten, welche Theile des erzeugenden Halbkreifes find, bei den einzelnen Wölbfchichten in Verband gefetzt, gegen die Lagerfugenkanten geführt find. Die einzelnen Wölbfteine haben eine keilförmige Geftalt. Die Gewölbefohle ift eine wagrechte Ebene; die Lagerfugenflächen ftehen fenkrecht zur Laibungsfläche und rechtwinkelig zur Stirn des Gewölbes, während die Stofsfugenflächen rechtwinkelig zu den Lagerfugenflächen und in Ebenen auftreten, welche parallel mit der Gewölbeftirn find.

Fig. 251.

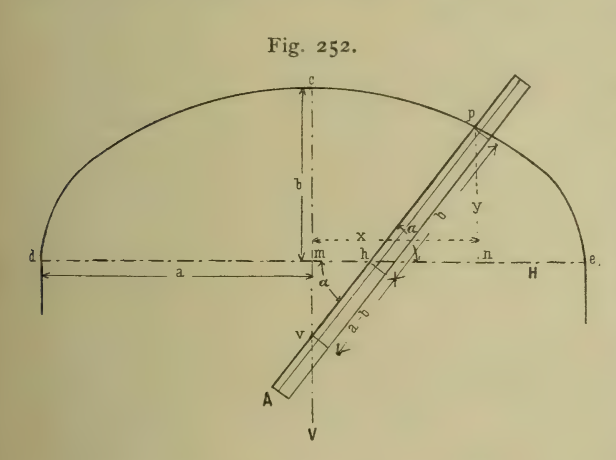


Aus ftatifchen Gründen ift häufig die Rückenlinie *R* (Fig. 251) auch bei den einfachen geraden halbkreisförmigen Tonnengewölben kein zur inneren Wölblinie concentrifcher Kreis, fondern ein Kreisbogen *fdf* mit dem Mittelpunkte *p*, welcher tiefer liegt, als der Mittelpunkt *m* der inneren Wölblinie *L*. Hierdurch tritt eine vom Scheitel *cd* aus bis zum Gewölbfufs *ef* ftetig wachfende Gewölbftärke auf; der Fugenfchnitt für das Gewölbe felbft erleidet aber hierdurch im Allgemeinen keine Aenderung.

125. Elliptifches Tonnengewölbe.

Ift die Laibungsfläche eines geraden Tonnengewölbes die halbe Oberfläche eines elliptifchen Cylinders, fo entfteht das elliptifche Tonnengewölbe. Ift in Fig. 252 die Pfeilhöhe *mc* die halbe kleine Axe der Ellipfe, während die grofse Axe *de* die Spannweite giebt, fo heifst ein folches elliptifches Gewölbe ein gedrücktes Tonnengewölbe, und andererfeits wird ein elliptifches Gewölbe ein überhöhtes Tonnengewölbe (Fig. 253) genannt, wenn die halbe grofse Axe *mc* der Ellipfe zur Pfeilhöhe und die kleine Axe *de* derfelben zur Spannweite genommen wird. Auch bei diefen elliptifchen Gewölben find die Lagerfugenflächen winkelrecht zur Laibungsfläche und fenkrecht zur Stirnebene des Gewölbes anzuordnen.

Fig. 252.



In Fig. 252 u. 253 find die Conftructionen für Ellipfen gegeben, welche zweckmäfsig für das Zureifsen derfelben auf dem Reifsboden (Gypseftrich, Bretterboden) in der Praxis Anwendung finden.

In Fig. 252 fei die Länge der halben grofsen Axe der Ellipfe $md = a$, diejenige der halben kleinen Axe $mc = b$. *A* fei eine Holzleifte mit gerader Kante *vp*. Auf derfelben ift $vp = a$ und $ph = b$ genau abgetragen und bezeichnet, fo dafs auch $vh = a - b$ ift.

Bewegt man diefe Leifte in der Weife, dafs der Punkt *v* fich dabei auf der lothrechten Linie *V* der kleinen Axe *b* und der Punkt *h* fich auf der wagrechten Linie *H* der grofsen Axe fortbewegt, fo wird durch den Punkt *p* ftets ein Ellipfenpunkt beftimmt. Sind folche Punkte *p* in gröfserer Zahl feft gelegt, fo kann das Zeichnen der Ellipfe leicht vorgenommen werden. Auf dem Zeichentifche benutzt man ftatt der Holzleifte einen Papierftreifen mit gerader Seitenkante.

Dafs p mit den Coordinaten x, y ein Punkt der Ellipfe ift, folgt unter Bezugnahme auf die Bezeichnungen in Fig. 252 durch nachftehende Ueberlegung. Es ift $\frac{y}{b} = \sin\alpha$, alfo

$$\frac{y^2}{b^2} = \sin\alpha^2 \quad \ldots\ldots \quad 98.$$

Ferner ift

$$x = mh + hn \quad \ldots\ldots \quad 99.$$

Aus der Aehnlichkeit der beiden rechtwinkeligen Dreiecke mhv und hnp ergiebt fich

$$\frac{mh}{hn} = \frac{a-b}{b};$$

folglich ift auch

$$\frac{mh+hn}{hn} = \frac{a-b+b}{b} = \frac{a}{b} \quad \text{und} \quad mh + hn = a\,\frac{hn}{b};$$

d. i. unter Benutzung von Gleichung 99

$$x = a\,\frac{hn}{b},$$

und, da

$$\frac{hn}{b} = \cos\alpha$$

ift, auch

$$x = a \,.\, \cos\alpha \quad \text{oder} \quad \frac{x}{a} = \cos\alpha$$

und

$$\frac{x^2}{a^2} = \cos\alpha^2 \quad \ldots\ldots \quad 100.$$

Werden die beiden Gleichungen 98 und 100 addirt, fo ergiebt fich

$$\frac{y^2}{b^2} + \frac{x^2}{a^2} = \sin\alpha^2 + \cos\alpha^2, \quad \text{d. h.} \quad \frac{y^2}{b^2} + \frac{x^2}{a^2} = 1,$$

woraus

$$y^2 = \frac{b^2}{a^2}\,(a^2 - x^2) \quad \ldots\ldots \quad 101.$$

als bekannte Mittelpunktsgleichung der Ellipfe folgt.

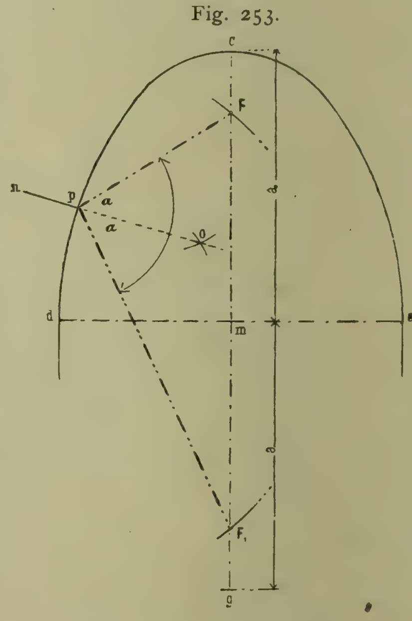


Fig. 253.

In Fig. 253 ift die Ellipfen-Conftruction mit Hilfe der Brennpunkte F, F_1 unter Benutzung der Eigenfchaft der Ellipfe, dafs die Summe der von irgend einem Ellipfenpunkte p nach den Brennpunkten gezogenen Leitftrahlen $pF + pF_1$ gleich der Länge $2a$ der grofsen Axe ift, angegeben.

Man beftimme die Brennpunkte F und F_1 durch die Schnittpunkte der aus dem Punkte d oder e mit dem Halbmeffer $dF = dF_1 = a$ befchriebenen Kreisbogen auf der grofsen Axe cg. Befeftigt man in F und F_1 je einen eifernen Nagel (Drahtftift), knüpft man hieran die Enden einer Schnur, deren Länge $cg = 2a$ ift, legt man an die innere Seite der Schnur einen Bleiftift und fpannt man diefelbe hierdurch leicht an, fo kann die Ellipfe in einem fortlaufenden Zuge »aufgeriffen« werden.

Die Normale pn für irgend einen Punkt p der Ellipfe ift der Halbirungsftrahl no des von den Leitftrahlen gebildeten Winkels FpF_1.

Ein ferneres, jedoch mehr auf dem Zeichenbrette angewendetes Verfahren zum Zeichnen einer Ellipfe, welches wohl die Methode der »Vergatterung« genannt wird, ift in Fig. 254 gegeben.

Man theilt die halbe kleine Axe $mc = me = b$ proportional mit der Theilung der halben grofsen Axe $dm = a$ und giebt den Ordinaten, welche den einzelnen Theilpunkten entfprechen, die ihnen zukommenden Längen der Ordinaten eines um m mit dem Halbmeffer b gefchlagenen Viertelkreifes.

Die proportionale Theilung von b und a erfolgt fehr einfach durch Benutzung der Strahlen dc und ce. Zieht man durch den beliebigen Punkt g die Linie gi parallel zu mc, fo fchneidet diefelbe den Strahl ce im Punkte h. Die Parallele zu de durch h geführt, fchneidet den Strahl dc in h_1, und die durch h_1 zu mc gezogene Parallele $i_1 h_1 g_1$ theilt in ihrem Fufspunkte g_1 die Länge $dm = a$ in demfelben Verhältniffe, wie der Punkt g die Länge $me = b$ getheilt hat.

Denn mit Bezugnahme auf Fig. 254 ift $\frac{x}{u} = \frac{a}{b}$, alfo

$$x = \frac{u}{b} a \quad \quad 102.$$

Ift nun allgemein $u = \frac{1}{n} b$, fo wird auch

$$x = \frac{\frac{1}{n} b a}{b} = \frac{1}{n} a .$$

Die Ordinate des Kreisbogens ce ift für den Punkt $g = gi = y$. Zieht man durch i wiederum die Parallele zu de, fo wird die Gerade $g_1 h_1 i_1$ im Punkte i_1 gefchnitten, und diefer Punkt ift ein Ellipfenpunkt. Denn man erhält aus dem rechtwinkeligen Dreiecke mgi

$$y^2 = b^2 - (b - u)^2 ,$$

auch

$$y^2 = 2bu - u^2 \quad \quad 103.$$

Aus Gleichung 102 folgt $u = \frac{b}{a} x$. Setzt man diefen Werth in Gleichung 103, fo wird

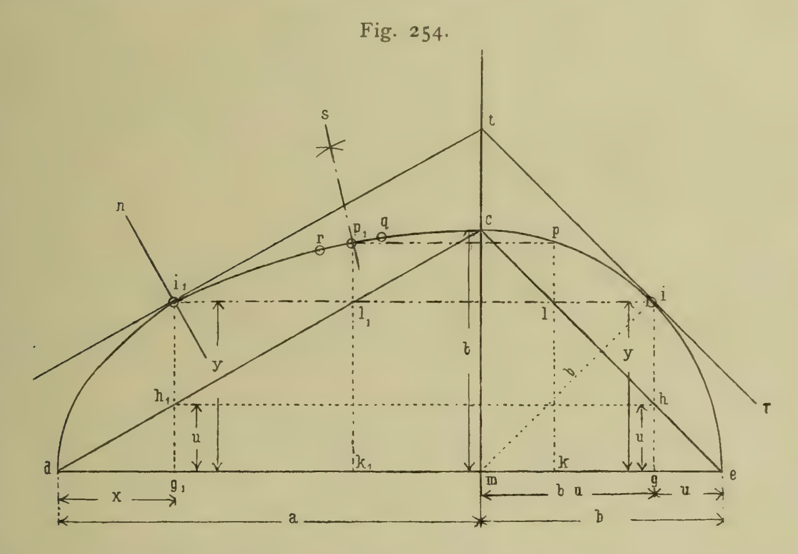
$$y^2 = \frac{2b^2 x}{a} - \frac{b^2}{a^2} x^2 ,$$

d. i.

$$y^2 = \frac{b^2}{a^2} (2ax - x^2) , \quad \quad 104.$$

entfprechend der Scheitelgleichung der Ellipfe mit den Halbaxen a und b.

Fig. 254.



Eben fo ift der Ellipfenpunkt p_1 zu ermitteln. Um die Normale in dem beliebigen Ellipfenpunkte i_1 zu beftimmen, legt man in dem entfprechenden Punkte i des Kreisbogens ce die Kreistangente T feft. Diefelbe trifft die erweiterte Gerade mc im Punkt t, und, wie bekannt, ift die von t nach i_1 geführte Gerade die Tangente der Ellipfe in i_1. Das Loth $i_1 n$ im Punkte i_1 auf ti_1 errichtet, giebt die Normale für diefen Punkt.

Das Feftlegen der normalen Fugenrichtung bei einer Ellipfe [158]) kann nach Fig. 255 auch in der folgenden Weife gefchehen. Aus den Halbaxen a und b der Ellipfe dce ift das Rechteck $mcke$ gezeichnet und in demfelben find die Diagonalen mk und ec gezogen. Für den beliebigen Punkt p der Ellipfe, deffen Abfciffe x ift, foll die Normale beftimmt werden.

Man fälle von p das Loth pg auf me, welches verlängert die Diagonale mk in f trifft. Von f fällt man das neue Loth fl auf die Diagonale ce, welches entfprechend erweitert die Seite me des Rechteckes in h fchneidet. Die Verbindungslinie von h und p liefert die gefuchte Normale N. Auf Grund der Conftruction ift mit Anwendung der Bezeichnungen in Fig. 255 aus der Aehnlichkeit der Dreiecke

[158]) Siehe: *Annales des ponts et chauffées* 1886, II. Sem., S. 404.

hgf und *cme* zunächst $\frac{z}{v} = \frac{b}{a}$, demnach

$$z = v \frac{b}{a} \quad \dots\dots\dots\dots \quad 105.$$

Da auch $\triangle fgm \sim \triangle kem$ ist, so erhält man $\frac{v}{x} = \frac{b}{a}$,

woraus

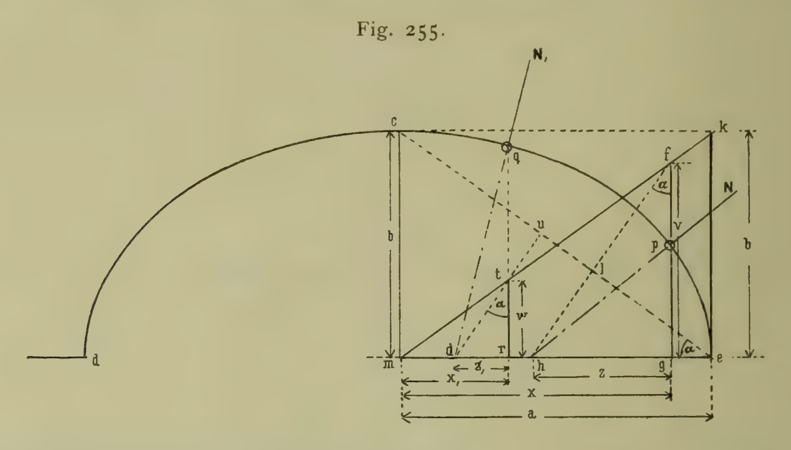
$$v = \frac{b}{a} x \quad \dots\dots\dots\dots \quad 106.$$

Setzt man diesen Werth für v in Gleichung 105, so wird

$$z = \frac{b^2}{a^2} x, \quad \dots\dots\dots\dots \quad 107.$$

entsprechend dem Ausdruck für die Subnormale des Ellipsenpunktes p.

Fig. 255.



Eben so ergiebt sich für die Normale N_1 des Punktes q der Ellipse der Ausdruck

$$z_1 = \frac{b^2}{a^2} x_1 .$$

Oft begnügt man sich bei praktischen Ausführungen beim Festlegen der Normalen in Ellipsenpunkten mit einem Näherungsverfahren. Man schneidet z. B. in Fig. 254 von p_1 nach rechts und links gleiche Stücke $p_1 q$ und $p_1 r$ von verhältnissmäfsig geringer Länge ab, und betrachtet das Ellipsenstück qr als eine gerade Linie, auf welcher in ihrem Halbirungspunkte p_1 die Winkelrechte $p_1 s$ als Normale der Ellipse errichtet wird.

126.
Korbbogengewölbe.

In manchen Fällen ist es vortheilhaft, bei den im Gewölbebau auftretenden elliptischen Tonnengewölben während der Ausführung des Gewölbes selbst ein noch einfacheres Festlegen der normal zur Ellipse gerichteten Gewölbfugen veranlassen zu können, als solches nach den im vorhergehenden Artikel gezeigten Verfahren möglich ist. Zu diesem Zwecke ersetzt man die Ellipse durch einzelne Kreisbogenstücke, welche mit Krümmungshalbmessern derart beschrieben und zusammengesetzt werden, dafs eine Curve entsteht, welche der beabsichtigten Ellipse thunlichst nahe kommt. In Fig. 256 ist eine derartige Construction der Bogenlinie *dce* ausgeführt.

Um den Mittelpunkt m der Ellipse sind 3 concentrische Kreise beschrieben, deren Halbmesser mg gleich der halben kleinen Axe, me gleich der halben grofsen Axe und mh gleich der halben grofsen Axe plus der halben kleinen Axe zu nehmen sind.

Zur Bestimmung eines Ellipsenpunktes und der dazu gehörigen Normalen ist der beliebige Strahl mkl gezogen, welcher den Kreis g in i, den Kreis e in k und den Kreis h in l schneidet. Zieht man ip parallel zu mh und kp parallel zu mc, so schneiden sich diese beiden Linien im Punkte p, welcher bekanntlich ein Punkt der Ellipse mit den Halbaxen me und mc ist. Verbindet man l mit p, so ist lp die Normale für die Ellipse im Punkte p.

Auf der linken Seite von Fig. 256 sind für vier Haupttheile und in der Nähe der grofsen Axe für einen Zwischentheil der halben Ellipse die Normalen co, qr, st .... gezeichnet. Die Schnittpunkte $5, 4, 3$ .... der Normalen co mit qr, sodann qr mit st .... liefern die Krümmungsmittelpunkte der

zugehörigen Kreisbogen, und zwar *5* für den Kreisbogen cq, *4* für den Kreisbogen qs .... Der für die Ellipfe mit den Halbaxen a und b mafsgebende Krümmungshalbmeffer ρ ift in den Endpunkten der grofsen Axe als

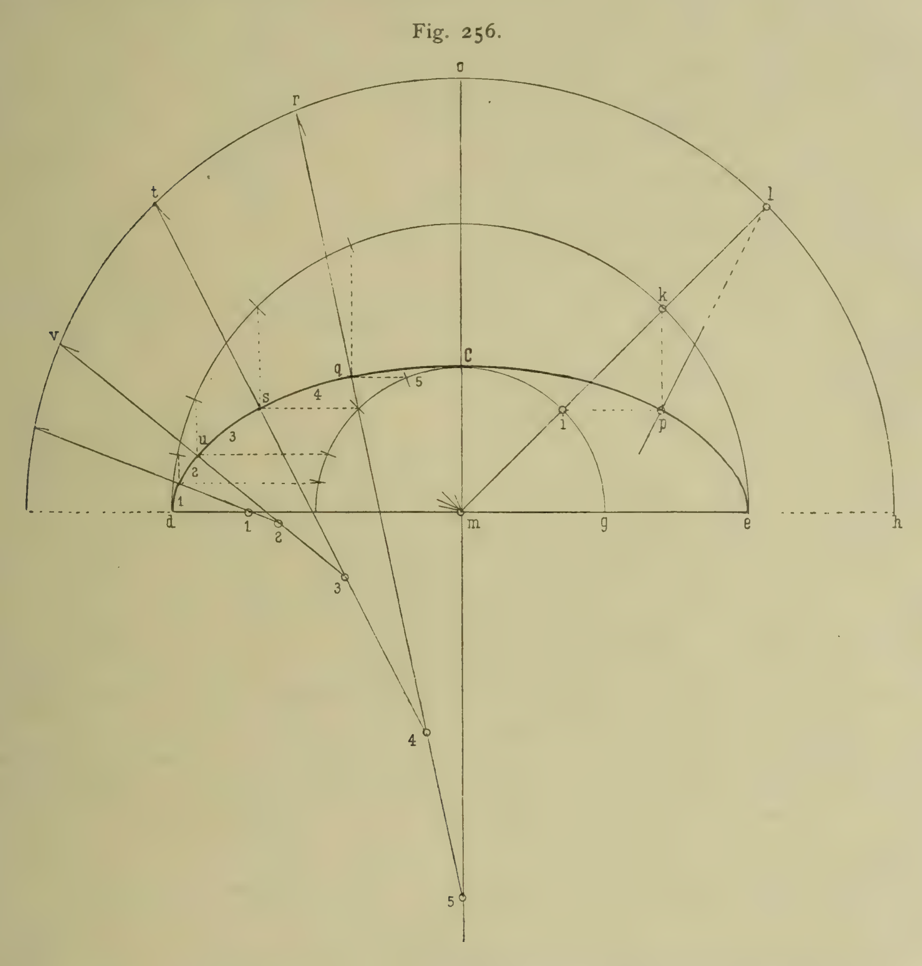
$$\rho = \frac{b^2}{a}$$

und in den Endpunkten der kleinen Axe als

$$\rho = \frac{a^2}{b}$$

bekanntlich beftimmt, fo dafs nach Berechnung diefer Werthe die gröfsten und kleinften Krümmungshalbmeffer von vornherein feft gefetzt werden können.

Fig. 256.

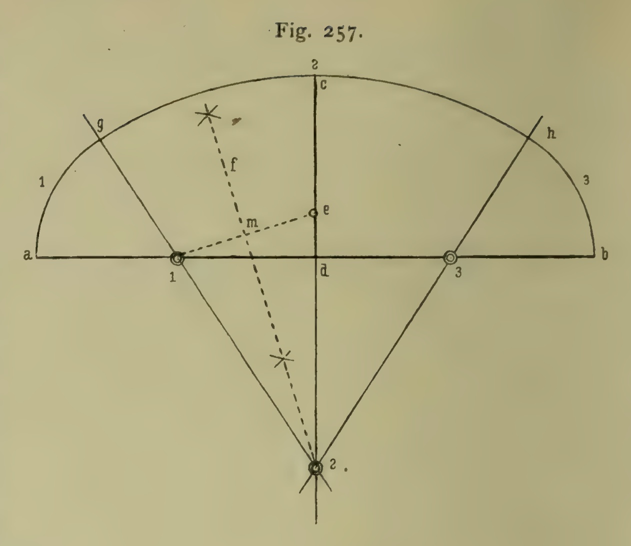


Die aus den verfchiedenen Kreisbogenftücken zufammengefügte Bogenlinie dce, wobei in den Vereinigungspunkten c, q, s .... für je 2 Kreisbogen eine gemeinfchaftliche Tangente vorhanden ift, wird Korbbogenlinie oder kurz Korbbogen genannt. Sie wird befchrieben aus einer beftimmten, bei Korbbogen mit wagrechter Axe und wagrechter Scheiteltangente ungeraden Anzahl von Mittelpunkten, beifpielsweife deren 9 in Fig. 256.

Wenngleich die Anzahl diefer Mittelpunkte nach dem foeben erklärten Verfahren beliebig grofs genommen werden könnte, fo ift doch für die praktifche Ausführung folcher Korbbogen meiftens nur eine geringe Zahl von Mittelpunkten erforderlich. In vielen Fällen, namentlich wenn bei gedrückten Bogen das Pfeilverhältnifs nicht unter 1/3 finkt, werden nur 3 Krümmungsmittelpunkte benutzt.

Von den zahlreichen Angaben für die Conftruction von Korbbogen follen hier nur einige, welche in der Praxis noch hier und dort Anwendung finden, berückfichtigt werden.

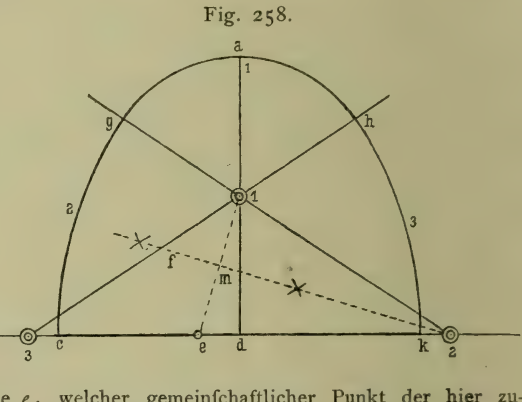
Fig. 257.



1) Korbbogen aus 3 Mittelpunkten. Es fei in Fig. 257 *ab* die gegebene Spannweite, *cd* die gewählte oder gegebene Pfeilhöhe eines zu zeichnenden gedrückten Korbbogens, und dabei fei die Beftimmung getroffen, dafs der im Gewölbfufs *a*, bezw. *b* beginnende Kreisbogen mit vorgefchriebenem Halbmeffer *a 1* = *b 3* gefchlagen werde, deffen Gröfse jedoch, um für den Scheitelbogen nicht einen Halbmeffer von unendlicher Gröfse zu erhalten, kleiner fein mufs, als die Pfeilhöhe *dc*.

Man trage auf *cd* die Strecke *ce* = *a 1* ab, ziehe *e 1* und errichte im Halbirungspunkte *m* der Geraden *e 1* das gehörig verlängerte Loth *f*, welches die verlängerte Gerade *cd* im Punkte *2* fchneidet. Alsdann ift *2* der Mittelpunkt des Scheitelbogens *2*. Die gemeinfchaftlichen Vereinigungspunkte *g* und *h* der einzelnen Kreisbogen liegen auf den verlängerten Strahlen *2 1*, bezw. *2 3*.

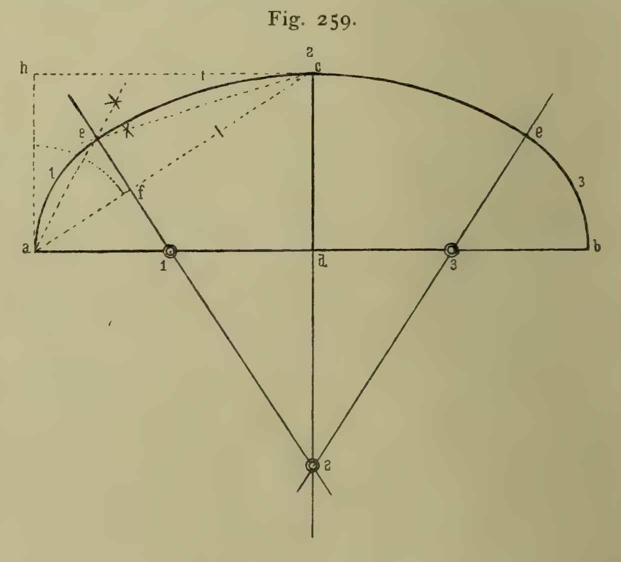
Fig. 258.



Für einen überhöhten, aus 3 Mittelpunkten befchriebenen Korbbogen *cak* ift in Fig. 258 die nun ohne Weiteres verftändliche Zeichnung gegeben.

Bei der in Fig. 259 veranfchaulichten Darftellung eines gedrückten Korbbogens mit 3 Mittelpunkten ift aus der Seite *ad* (halbe Spannweite) und der Seite *dc* (Pfeilhöhe) das Rechteck *adch* gezeichnet, hierauf die Diagonale *ac* deffelben gezogen und danach die Halbirung der Winkel *hac* und *hca* vorgenommen. Die von *a* und *c* ausgehenden Halbirungsftrahlen treffen fich im Punkte *e*, welcher gemeinfchaftlicher Punkt der hier zufammentretenden Kreisbogen wird. Von *e* ift das Loth *ef* auf die Diagonale *ac* gefällt und gehörig erweitert, um in feinem Schnittpunkte *1* mit *ad* und im Schnitte *2* mit der verlängerten Geraden *cd* die gefuchten Mittelpunkte *1* und *2* für die Bogen *1* und *2* zu liefern.

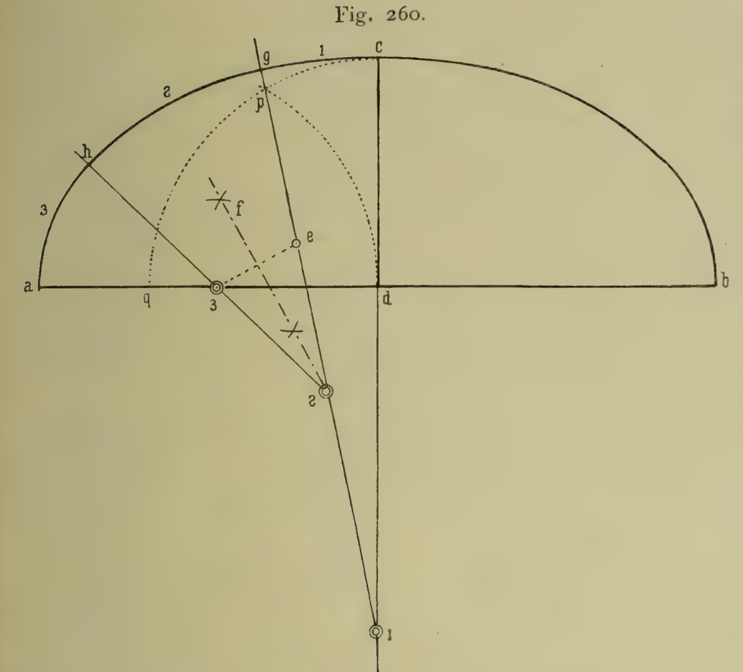
Fig. 259.



Der Mittelpunkt *3* für den Bogen *3* liegt fymmetrifch mit Punkt *1*. Diefelbe Conftruction gilt auch für den überhöhten Korbbogen.

2) Korbbogen aus 5 Mittelpunkten. Beim gedrückten Korbbogen in Fig. 260 ift *ab* die Spannweite und *dc* die Pfeilhöhe. Obgleich die Halbmeffer für den Scheitelbogen und für den Anfatzbogen am Kämpfer von im Allgemeinen beliebiger, nur innerhalb gewiffer Grenzen liegender Länge genommen werden können, fo empfiehlt es fich doch aus ftatifchen Gründen, wie aus Rückfichtnahme

Fig. 260.



auf die praktifche Ausführung der Korbbogengewölbe den Halbmeffer des Scheitelbogens nicht zu grofs, den Halbmeffer des Kämpferbogens dagegen nicht zu klein zu nehmen. In Fig. 260 ift der erftere ($= c\,1$) etwas kleiner als die Spannweite und der letztere ($= a\,3$) etwas gröfser als $^1/_4$ der Spannweite $a\,b$ gewählt.

Um die Länge des Scheitelbogens, welche gleichfalls ziemlich willkürlich angenommen werden könnte, nicht zu übertreiben, ift es empfehlenswerth, den mit dem Halbmeffer $d\,c$ um d befchriebenen Viertelkreis $q\,c$ in 3 Theile zu zerlegen und durch den höchften Theilpunkt p den Strahl $1\,p$ als Begrenzungshalbmeffer für den Scheitelbogen anzunehmen. Diefer um 1 mit $1\,c$ befchriebene Bogen erhält dann im Punkte g der erweiterten Geraden $1\,p$ feinen Endpunkt.

Nachdem $a\,3$ als Halbmeffer des Kämpferbogens feft gelegt ift, wird, ähnlich der Conftruction in Fig. 257, die Länge $a\,3$ von g nach e auf $g\,1$ abgetragen und im Halbirungspunkte der Linie $3\,e$ das Loth f errichtet, welches entfprechend verlängert die Linie $g\,1$ in 2 fchneidet. Der Punkt 2 ift alsdann Mittelpunkt für den Bogen 2, welcher mit dem Halbmeffer $2\,g$ befchrieben wird. Der Begrenzungshalbmeffer für diefen Bogen ift der erweiterte Strahl $2\,3$, auf welchem h der Vereinigungspunkt für den um 3 mit $3\,a$ befchriebenen Kämpferbogen und für den Bogen $g\,h$ wird.

3) Korbbogen aus mehr als 5 Mittelpunkten werden immerhin am zweckmäfsigften auf Grund des in Fig. 256 gegebenen Verfahrens befchrieben.

127.
Parabelgewölbe.

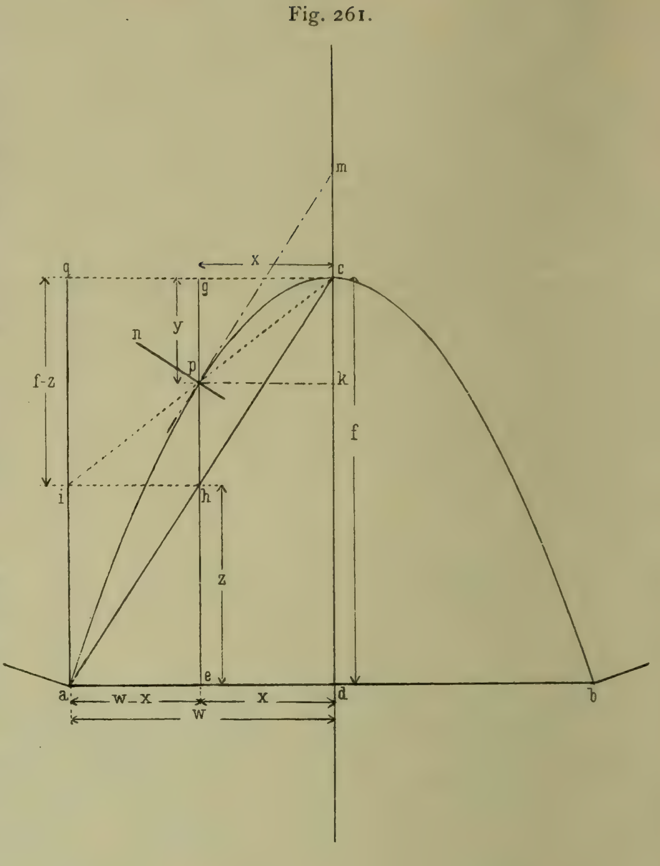
Durch theoretifche Unterfuchungen ergiebt fich, dafs, unter fonft gleichen Verhältniffen genommen, die Parabel von allen einfachen Curven diejenige ift, für welche, wenn diefelbe als Mittellinie der Gewölbftirn, bezw. als Bogenlinie gewählt wird, das ftabilfte Gewölbe hergeftellt werden kann, und fchon aus diefem Grunde follten Tonnengewölbe, wenn nicht ganz befondere äfthetifche Forderungen für die Geftaltung derfelben geftellt werden, als Gewölbe mit einer Parabel als Bogenlinie, bezw. als Stirn-Mittellinie, alfo als Parabelgewölbe häufiger als bis jetzt im Hochbauwefen der Fall ift, zur Ausführung kommen. Für Parabel-Tonnengewölbe würde die Pfeilhöhe mindeftens gleich der halben Spannweite auftreten, da bei geringer Pfeilhöhe eine flachbogige Parabel als Erzeugende für ein Flachbogengewölbe entfteht. Eine die halbe Spannweite überfchreitende Bogenhöhe liefert eine Bogenöffnung, welche für die Benutzung des dazu gehörigen Raumes oft erwünfcht und vortheilhaft ift, ohne dafs dadurch befondere Schwierigkeiten für die Gewölbeausführung erwachfen, dafs vielmehr dadurch noch Nutzen für die Widerlagskörper entfteht.

Von den zahlreichen Conftructionen der Parabel ift ein für unfere Zwecke fehr brauchbares Verfahren zum Zeichnen einer mit beliebiger Weite und Höhe verfehenen Parabel in Fig. 261 gegeben.

Es fei $w = a\,d = d\,b$ gleich der halben Spannweite und $p = c\,d$ gleich der Pfeilhöhe der zu zeichnenden Parabel; die Abmeffungen find für beide Stücke beliebig gewählt.

Man ziehe cq parallel zu ad, aq parallel zu cp und die Gerade ac. Zieht man nunmehr durch den beliebigen Punkt e der Geraden ad die Parallele eg zu dc, fo fchneidet diefelbe die Linie ac im Punkte h. Führt man durch h parallel zu ad die Gerade hi, welche die Gerade aq in i fchneidet und verbindet man i mit c durch eine gerade Linie, fo trifft diefelbe die Gerade eg in einem Punkte p, welcher ein Punkt der gefuchten Parabel ift.

Fig. 261.



Nimmt man pk parallel zu ad und $kc = cm$, fo ift der Strahl mp nach bekannten Eigenfchaften der Parabel Tangente in p, und das in p auf pm errichtete Loth ift die Normale für diefen Punkt.

Dafs p ein Punkt der Parabel ift, ergiebt fich unter Bezugnahme auf die Bezeichnungen in Fig. 261 in folgender Weife. Auf Grund der Aehnlichkeit der beiden Dreiecke gpc und qic ift $\frac{y}{x} = \frac{(f - z)}{w}$, demnach

$$y = (f - z)\frac{x}{w} \quad . \quad . \quad 108.$$

Da ferner $\triangle\, eha \backsim \triangle\, dca$ ift, fo folgt $\frac{z}{w - x} = \frac{f}{w}$, mithin

$$z = \frac{f}{w}(w - x) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 109.$$

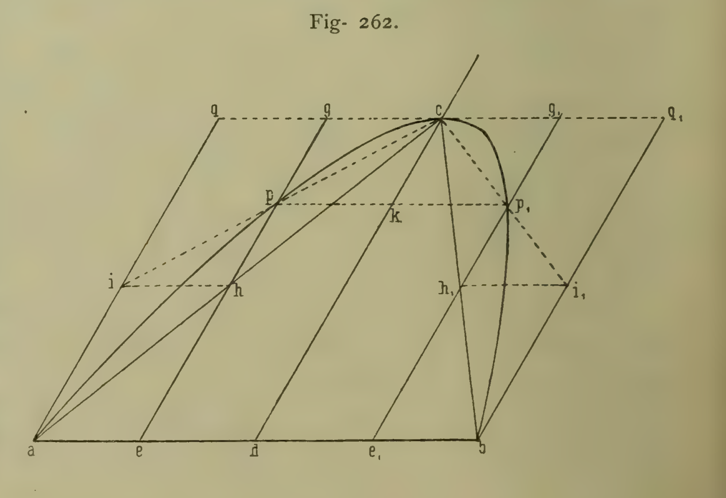
Führt man diefen Werth von z in Gleichung 108 ein, fo erhält man den Ausdruck

$$y = \frac{f}{w^2}x^2, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 110.$$

welcher der Gleichung der Parabel entfpricht, deren Axe mit der Coordinatenaxe cd zufammenfällt.

Steht wie in Fig. 262 dc fchiefwinkelig auf ab im Halbirungspunkte d, fo find ab und cd conjugirte Durchmeffer der Parabel und aus der hier als bekannt vorausgefetzten Uebereinftimmung der Form der Gleichung der Parabel, bezogen auf ein Syftem conjugirter Axen mit der Scheitelgleichung 110 derfelben, folgt, dafs alle Eigenfchaften der Parabel, welche vom Coordinatenwinkel unabhängig find, auch bei dem neuen Syftem mit conjugirten Axen Giltigkeit behalten.

Fig- 262.



Von Bogenlinien in der Form von Fig. 261 u. 262

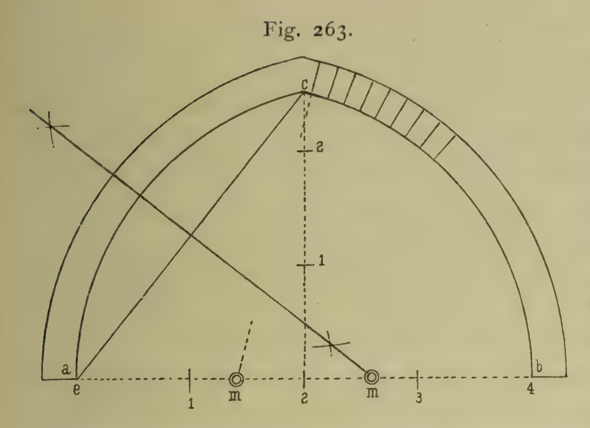


Fig. 263.

werden wir ſpäter noch Gebrauch machen.

128. Spitzbogiges Gewölbe.

Iſt die Bogenlinie nicht ſtetig gekrümmt, ſondern wie in Fig. 263 aus zwei in einem Punkte *c*, dem Scheitelpunkte, ſich ſchneidenden Bogenſchenkeln, *ac* und *bc*, die an dem Schnittpunkte einen mehr oder weniger groſsen Bogenwinkel bilden, zuſammengeſetzt, ſo entſteht der Spitzbogen als erzeugende Linie für das ſpitzbogige Gewölbe. Je nach der Gröſse des Bogenwinkels entſtehen die mehr oder weniger ſchlanken Spitzbogen.

In Fig. 263 iſt der Bogenwinkel *acb*, bei dem ein Pfeilverhältniſs $2^1/_2$: 4 oder 5 : 8, welches ſchon in früher Zeit bei den Spitzbogen Anwendung gefunden hat, zu Grunde gelegt iſt, einem weniger ſchlanken Spitzbogen entſprechend, bietet aber für ein ſpitzbogiges Tonnengewölbe eine zweckmäſsige Bogenlinie.

Bei der Verwendung des Spitzbogens zu Tonnengewölben ſind die Schenkel deſſelben jeder für ſich meiſtens aus einem Mittelpunkte zu ſchlagen; nur in beſonderen Fällen können die Bogenſchenkel für ſich aus mehreren Mittelpunkten nach Art der Korbbogen beſchrieben werden. Die Form der Spitzbogen iſt eine äuſserſt mannigfache und, wenn auch ſpäter bei Betrachtung der gothiſchen Kreuzgewölbe noch näher auf die Bildung von Spitzbogen eingegangen werden ſoll, ſo ſind hier, ſo weit das ſpitzbogige Tonnengewölbe in Betracht kommt, vorweg folgende Bemerkungen zu machen.

In Fig. 264 ſind einige Spitzbogen für die Spannweite *aa* in Zuſammenſtellung mit einem um *m* beſchriebenen Halbkreiſe gezeichnet, wobei die Mittelpunkte *b* und *c* der Bogenſchenkel *B* und *C*, wie ohne Weiteres erſichtlich, mit Hilfe der Sehnenlängen *aM* und *ad* beſtimmt wurden. Der höchſte Spitzbogen *A* hat für ſeinen Schenkel einen Halbmeſſer gleich der Spannweite, ſo daſs der Scheitelpunkt *e* dieſes Bogens die Spitze eines über der Spannweite errichteten gleichſeitigen Dreiecks *aea* bildet. So lange der Mittelpunkt für die Spitzbogenſchenkel innerhalb der Strecke *ma* bleibt, erſcheint der danach gebildete Bogen weniger ſchlank, aber vielfach in äſthetiſcher und in gewiſſen Fällen in ſtatiſcher und conſtructiver Beziehung günſtiger. Eine Grenzlage bildet gleichſam der um *a* beſchriebene Spitzbogen *A*. Rückt der Mittelpunkt noch über die Kämpferpunkte *a* hinaus, ſo entſteht leicht eine übertrieben ſpitze, lanzettartige Form für die Bogenlinie. Wegen der Vielſeitigkeit, welche der Spitzbogen bietet, iſt in jedem beſonderen Falle die Wahl ſeiner Form reiflichen Erwägungen zu unterwerfen. Der Umſtand, daſs der Spitzbogen an ſeinem Scheitelpunkte einen Bogenwinkel bildet, beeinfluſst die Stellung der Gewölbfugen, welche für jeden Bogenſchenkel nach dem ihm zugehörigen Mittelpunkte gerichtet ſein ſollen, in beachtenswerther Weiſe. Bei kleinerem Wölbmaterial wird namentlich, wie Fig. 265 zeigt, über dem Scheitelpunkte des Bogens ein häſsliches und der Stabilität deſſelben ungünſtiges Syſtem von kleinen, ſtark keilförmigen

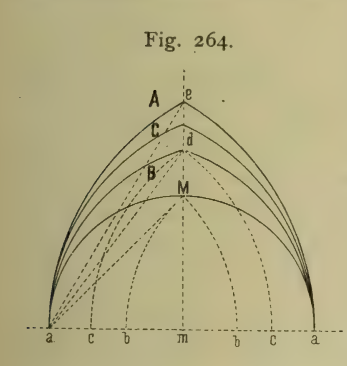


Fig. 264.

Stücken angehäuft, welches in keiner Weiſe einer guten Conſtruction entſpricht und deſshalb als fehlerhaft bezeichnet wurde. Aber auch ſelbſt bei gröſseren Stücken von Wölbmaterial iſt die Fugenanordnung in der dargeſtellten Weiſe in der Nähe des Scheitels zu vermeiden, da zweckmäſsig, dem Verlaufe der Mittellinie des Druckes (Drucklinie) im Spitzbogengewölbe entſprechend, in der Nähe des Scheitels ſich mehr der lothrechten Richtung nähernde Gewölbfugen anzuordnen ſind.

Aus dieſem Grunde richtet man nach Fig. 266 die Wölbſchichten in der Nähe des Scheitels unter Aufgeben der normalen Stellung zur Bogenlinie nach ſymmetriſch liegenden verſetzten Mittelpunkten. Läſst man bis zu einer Entfernung von 30 bis 40 cm auf beiden Seiten des Scheitels die normale Fugenrichtung für die Mittelpunkte *o*, bezw. *11* eintreten, ſo iſt nunmehr das höchſte Bogenſtück zwiſchen den normalen Grenzfugen *o*...*o* und *11*...*11* für kleineres Wölbmaterial, z. B. für Ziegel, in der Weiſe in Schichten zu theilen, daſs, der Dicke der Ziegel und der Stärke der Fugen zwiſchen dem Ziegelmauerwerk entſprechend, die Theilung auf der Rückenlinie des Gewölbbogens mit Vermeidung der ſog. Schluſsfuge vor-

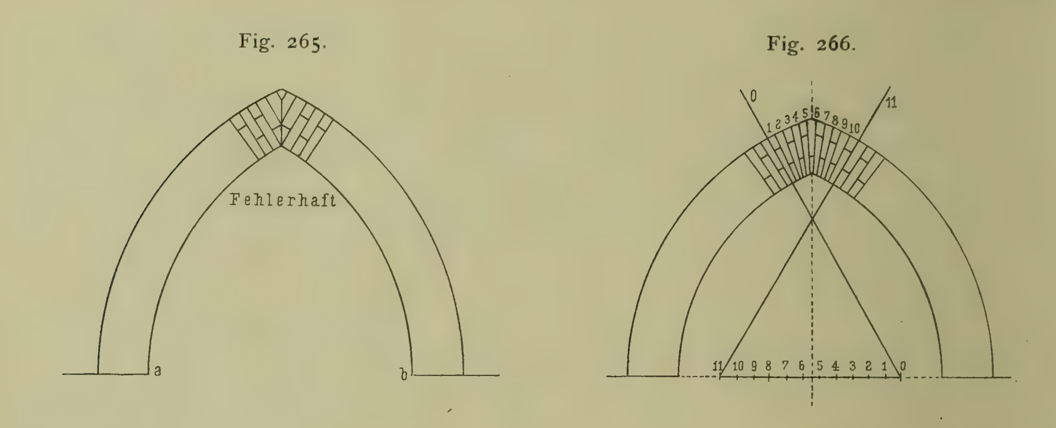


Fig. 265.

Fig. 266.

genommen wird. Die Theilung auf der inneren Bogenlinie vorzunehmen, iſt nicht räthlich, weil alsdann in Folge der immerhin noch nothwendigen keilförmigen Geſtalt der Wölbſteine bei der ſonſt üblichen Gewölbſtärke in der Nähe des Rückens ſehr ſtarke Mörtelfugen erforderlich werden, während bei der empfohlenen Theilung, unter Beobachtung regelrechter Fugenſtärken, die einzelnen Steine der Wölbſchichten nur ein mäſsiges Verhauen erleiden oder in der Nähe der inneren Bogenlinie etwas ſchwächere Fugen als oben am Rücken erhalten.

Da die Theilung von der gedachten Scheitel-Lothrechten zu beiden Seiten ſymmetriſch liegt, alſo für den Schluſsſtein eine volle Steinſchicht eingeführt werden muſs, ſo hat man immer für die zu theilende Strecke zwiſchen den Grenzfugen eine ungerade Zahl von Wölbſchichten anzuordnen. Dieſe Zahl iſt nun maſsgebend für das Feſtlegen der Richtungslinien der einzelnen Fugen, indem die Verbindungslinie der Hauptmittelpunkte *o*...*11* in dieſelbe Anzahl gleicher Theile zerlegt wird. In der Zeichnung ſind 11 Theilpunkte angewandt, und nunmehr richtet ſich Fuge *1* nach der Geraden *1*...*1*, *2* nach der Linie *2*...*2* u. ſ. f.

Eine gleiche Anordnung des Fugenſchnittes im Scheitel iſt auch für Spitzbogen, welche aus Bruchſtein- oder Quadermaterial hergerichtet werden ſollen, zu empfehlen.

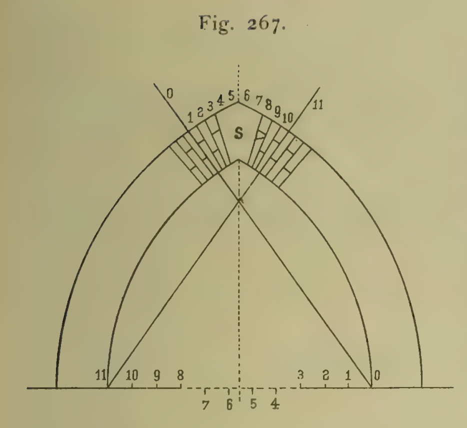


Fig. 267.

Zuweilen fügt man auch felbft dann, wenn Ziegelmaterial verwendet wird, unter theilweifer Beibehaltung der eben befchriebenen Fugenanordnung, nach Fig. 267 eine befonders aus gröfseren Thonfteinen gebrannte oder aus Werkftücken (Quadern) bearbeitete Schlufsfteinfchicht *S* ein, was namentlich bei fteileren Spitzbogen räthlich ift, da alsdann ein Verhauen der einzelnen, wenn auch wenigen Schichten in der unmittelbaren Nähe des Scheitels vermieden wird.

Bei fteilen Spitzbogen kann die Grenzlage, bis zu welcher die normale Fugenrichtung beibehalten wird, fchon mit einem Neigungswinkel von etwa 45 Grad zur Wagrechten *o . . . 11* angenommen werden, während bei weniger fteilen, fog. ftumpfen Spitzbogen die fchon oben angegebene höhere Grenzlage ohne Nachtheil für die Ausführung eingeführt werden kann.

Werden die Mittelpunkte *o* und *7* (Fig. 268) unter die wagrechte Verbindungslinie *ab* der Kämpferpunkte gelegt, fo entfteht der gedrückte Spitzbogen. Wird dabei die Pfeilhöhe *cd* kleiner, als die halbe Spannweite *ad*, fo erhält man den flachen Spitzbogen.

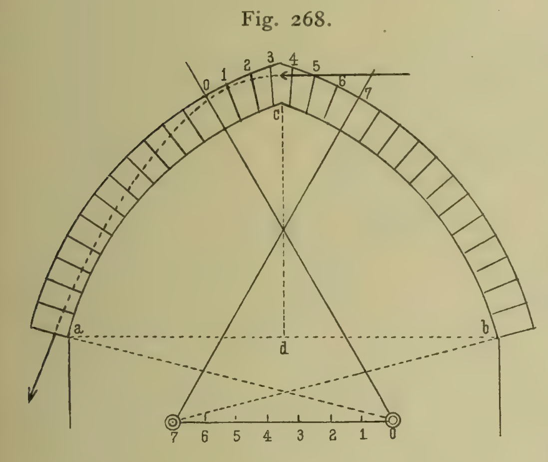


Fig. 268.

Die Anwendung des gedrückten Spitzbogens, deffen Fugenfchnitt aus der Zeichnung erfichtlich ift, eignet fich aus ftatifchen Gründen, weil im Allgemeinen ein günftiger Verlauf der Mittellinie des Druckes fich nachweifen läfft, meiftens vortheilhaft zur Ausführung fpitzbogiger Tonnengewölbe.

Eben fo wie aus zwei Kreisbogenfchenkeln ein Spitzbogen gebildet werden kann, würde man auch aus zwei fymmetrifchen elliptifchen Bogen oder aus zwei fymmetrifchen Korbbogen einen Spitzbogen conftruiren und danach ein entfprechendes Tonnengewölbe herftellen können. In der Anwendung find alsdann alle diejenigen Punkte wieder zu berückfichtigen, welche bereits bei den elliptifchen und Korbbogen-Gewölben Erwähnung gefunden haben. Auf die elliptifchen Spitzbogen-Gewölbe wird noch bei den »Tonnengewölben mit fog. Stichkappen« und bei den »Netzgewölben« hinzuweifen fein.

129.
Tonnengewölbe mit Stich.

Werden gerade Tonnengewölbe in gröfserer Länge zur Ueberdeckung eines Raumes in Anwendung gebracht, fo erfcheint die wagrechte Scheitellinie des Gewölbes dem Auge des Befchauers nicht mehr als eine wirkliche Wagrechte, fondern als eine nach unten fchwach durchgebogene Linie. Diefe optifche Täufchung zieht natürlich das Anfehen des Gewölbes in unangenehme Mitleidenfchaft. Um diefen Eindruck zu verwifchen, läfft man bei derartigen längeren Tonnengewölben (Fig. 269) die Axen von den Stirnmauern bis zur Mitte des Raumes fchwach geneigt an-

ſteigen, oder wie geſagt wird, man läſſt das Gewölbe »mit Stich« verſehen. Die Scheitellinie und die Kämpferlinien erhalten dann als Parallele zur Gewölbaxe denſelben Stich.

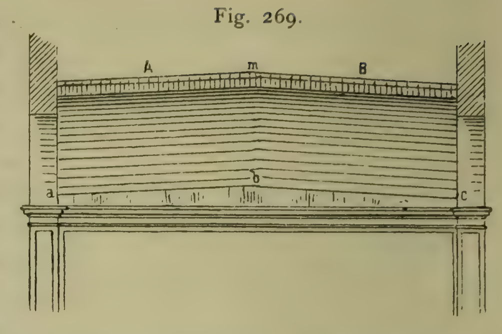
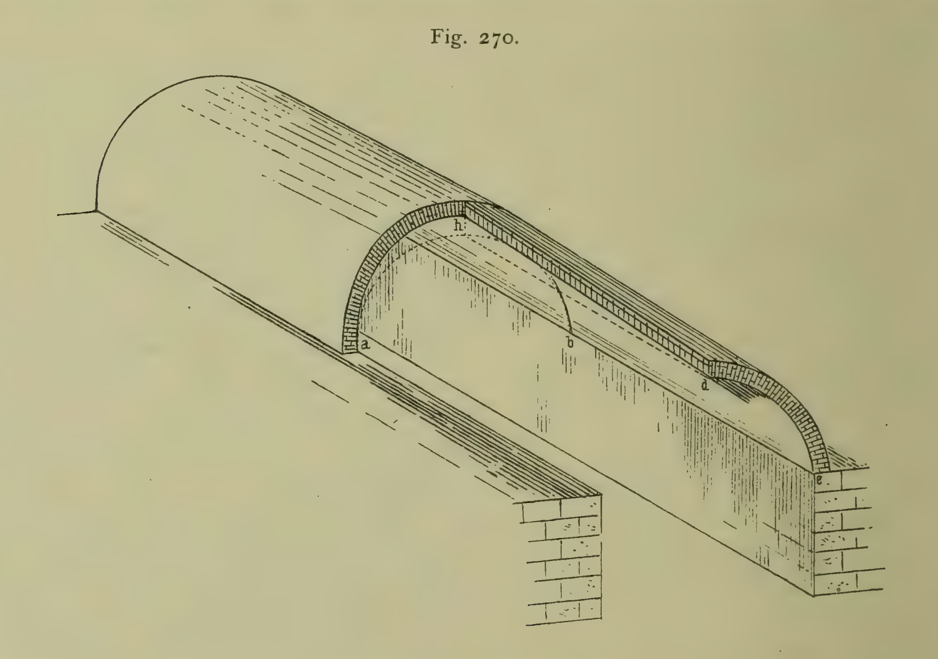


Fig. 269.

In ſolchem Falle bilden die beiden cylindriſchen Cewölbkörper *A* und *B*, da ihre Axen nicht mehr rechtwinkelig zu ihren Stirnebenen ſtehen, ſchiefe cylindriſche Körper, welche in einer ſog. »Naht» oder in einem »Grat« *mb* zuſammentreffen, ſonſt aber überall den gleichen lothrechten Querſchnitt beſitzen.

Das ſchräge Anſteigen *ab*, bezw. *cb* der Kämpferlinien kann beim Vorhandenſein wagrecht geführter Kämpfergeſimſe jedoch von nachtheiliger Wirkung werden; um dieſes zu vermeiden, ordnet man das Gewölbe nach Fig. 270 bei wag-

Fig. 270.



rechten Kämpferlinien ſo an, daſs die Scheitellinie bis zur mittleren Bogenlinie, welche eine andere Form *ahb* als die Bogenlinie der Stirn erhält, in entſprechender Weiſe anſteigt. Die Folge hiervon iſt, daſs die ſämmtlichen lothrechten Schnitte, parallel zur Stirnebene gelegt, verſchiedene Bogenlinien aufweiſen müſſen. In der praktiſchen Ausführung ſolcher Gewölbe wird aber auf dem den Körper des Gewölbes tragenden Gerüſte, wovon ſpäter erſt die Rede ſein kann, ohne von vornherein die Wölblinien zu ändern, vermöge des nur geringen Stiches, an den nothwendigen Gerüſtſtellen eine ſchwache Auffütterung von Holzſtücken vorgenommen, welche in ihrer Höhe der Stichhöhe in den zugehörigen Punkten entſprechen.

Um die Höhen der Auffütterungen an verſchiedenen Stellen zu beſtimmen, kann man nach Anleitung von Fig. 271 verfahren.

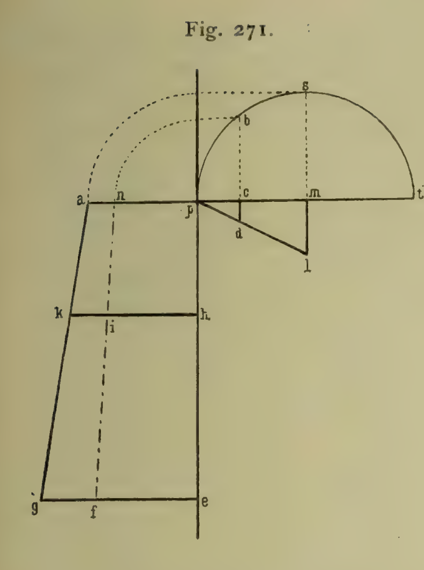


Fig. 271.

Es sei pe die wagrechte Länge der Gewölbhälfte, der um m mit dem Halbmeffer mp befchriebene Halbkreis pst der Stirnbogen und ml die Höhe des Stiches der Scheitellinie vom Stirnbogen bis zum Grat des Gewölbes. Lothrechte Ebenen bc, welche rechtwinkelig zur Stirnebene geführt werden, follen die Laibungsfläche des Gewölbes in geraden anfteigenden Linien fchneiden, deren Stichhöhe cd am Grat fich zur Stichhöhe ml der Scheitellinie verhält, wie fich der Abftand pc der gewählten lothrechten Ebene zum Halbmeffer pm des Stirnbogens verhält.

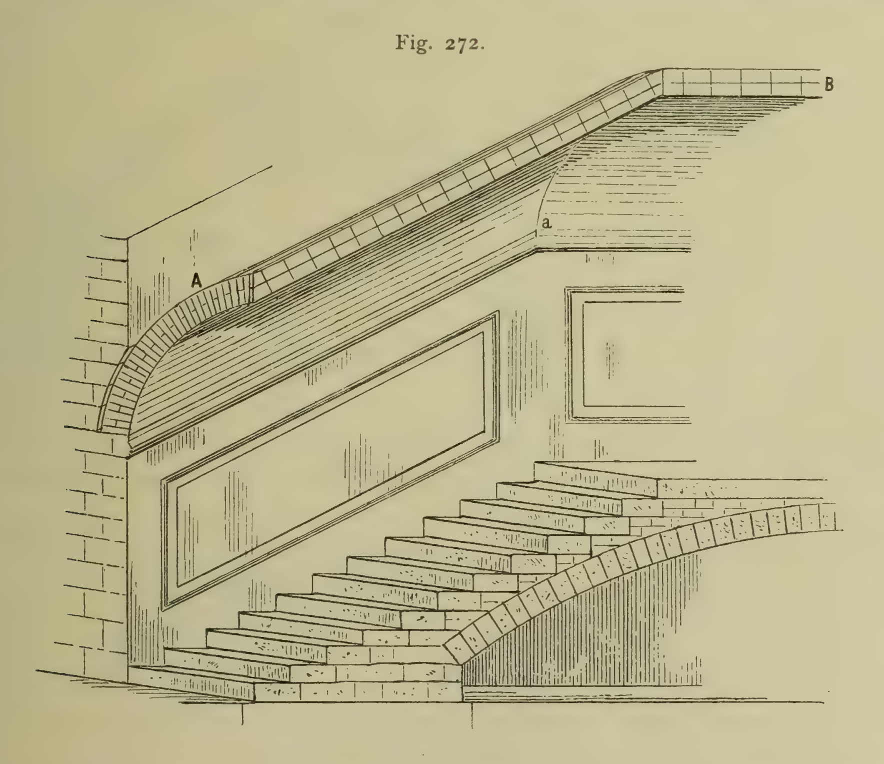
Nimmt man daher $pn = cb$ und $ef = db$, fo ift nf die gefuchte anfteigende Linie für den lothrechten Schnitt bc und $ef - bc = cd$ die Auffütterung für den Punkt f. Für den beliebig in h parallel zur Stirnebene genommenen lothrechten Schnitt hk ift im Punkte i die Auffütterung gleich dem Unterfchiede zwifchen hi und cb, während für den Punkt k die Höhe diefer Auffütterung offenbar gleich dem Unterfchiede zwifchen hk und ms ift, weil ag der anfteigenden Scheitellinie vom Stirnbogen bis zum Grat entfpricht, für welche $eg = ls$ und $pa = ms$ mafsgebend war.

Was hier für den Halbkreis als Stirnbogen gefagt ift, gilt auch für irgend eine andere Form des zu Grunde gelegten Stirnbogens.

130. Steigendes Tonnengewölbe.

Liegen die gerade Gewölbaxe und die ihr parallelen Kämpferlinien eines Tonnengewölbes in einer fchiefen Ebene, wobei jedoch zwei einander zugehörige Kämpferpunkte einer wagrechten Geraden angehören, fo wird daffelbe ein gerades fteigendes Tonnengewölbe genannt. Fig. 272 veranfchaulicht daffelbe an dem

Fig. 272.

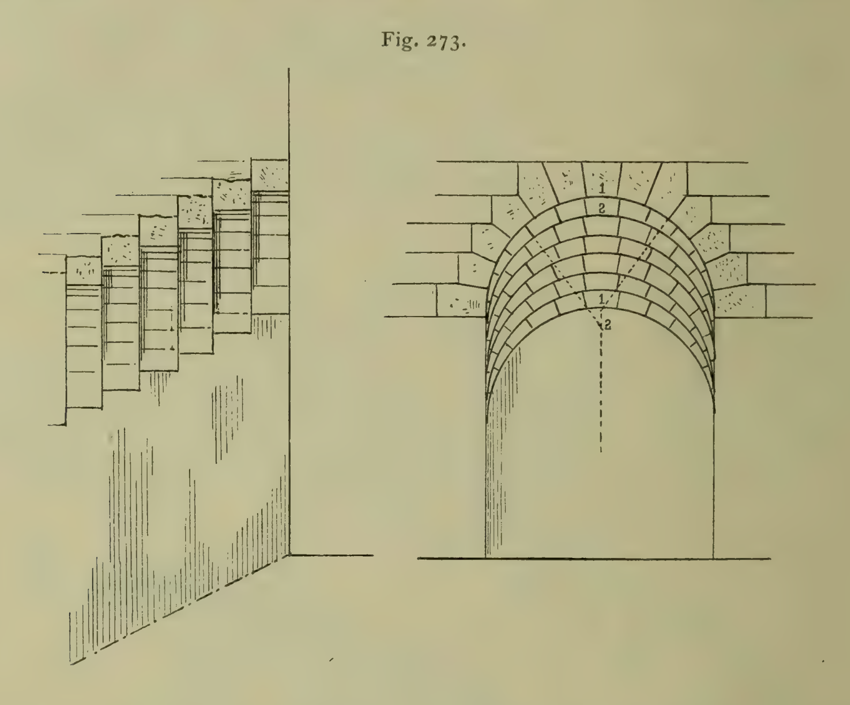


im Durchfchnitte genommenen Gewölbkörper A. Tritt daffelbe mit einem wagrechten geraden Tonnengewölbe B zufammen, fo entfteht in der Schnittlinie wiederum

ein Grat *a*. Derartige Tonnengewölbe finden in der Regel nur bei Treppenanlagen Verwendung und find auch hierfür fchon in früher Zeit in grofsartiger Weife zur Ausführung gelangt.

Wenngleich der praktifchen Herrichtung diefer Gewölbe befondere Schwierigkeiten nicht entgegenftehen, fo wurden doch namentlich im Mittelalter derartige fteigende Gewölbe aus einzelnen, neben einander ftehenden, kürzeren Gewölben, fog. »Gurten« oder »Zonen«, deren Kämpfer einer ftaffelartigen Anordnung folgen, zufammengefügt. Diefe Conftructionsweife, welche in Fig. 273 in Anficht und

Fig. 273.



Längenfchnitt dargeftellt ift, eignet fich befonders für Quader als Wölbmaterial. Auch bei den in diefer Weife auszubildenden Gewölben ift bei der Wahl der Bogenlinie die gröfste Freiheit vorhanden.

131. Schraubenförmig fteigendes Tonnengewölbe; Schneckengewölbe.

Sind die Axe und die Kämpferlinien eines Gewölbes Schraubenlinien, bei deren Feftlegen die beiden zufammengehörigen Kämpferpunkte der Bogenlinie, welche die Laibungsfläche deffelben erzeugt, die Endpunkte einer geraden wagrechten Linie bilden, fo nennt man daffelbe ein fchraubenförmig fteigendes Tonnengewölbe oder ein Schneckengewölbe (Fig. 274). Derartige Gewölbeanlagen können über maffiven Wendeltreppen, Reitrampen im Inneren eines Bauwerkes und in fonft geeigneten Fällen Platz greifen. Kommt bei denfelben Werkftein als Wölbmaterial zur Benutzung, fo ift ein befonderer Steinfugenfchnitt, wovon fpäter (unter c) die Rede fein wird und welcher in Fig. 274 angedeutet ift, in Anwendung zu bringen. Treten mit den Schneckengewölben Podeftgewölbe *abcd* zufammen, deren Kämpferlinien *ad* und *bc* einer wagrechten Ebene angehören, fo bilden die Schnittlinien über *ab*, bezw. *cd* Grate, welche jedoch genau der erzeugenden Bogenlinie entfprechen.

132. Ringgewölbe.

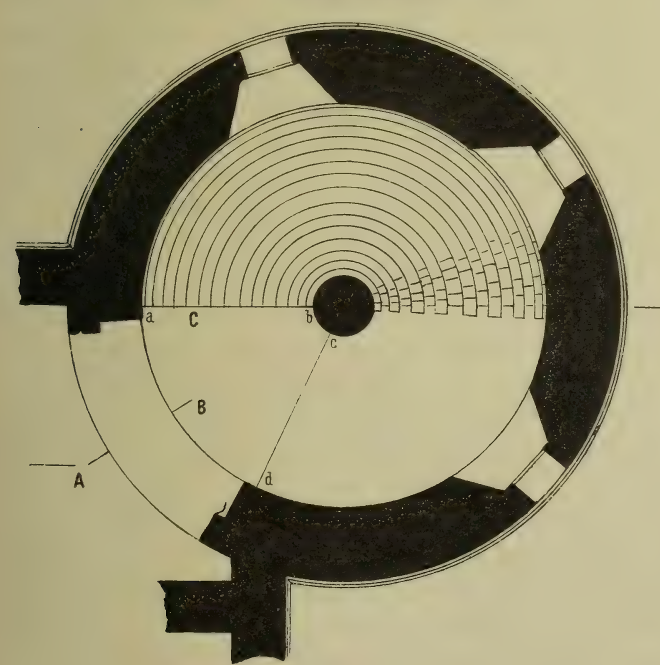
Ift die Axe eines Gewölbes eine in einer wagrechten Ebene liegende, gefetzmäfsig gebildete Curve und find die in derfelben Ebene liegenden Kämpferlinien

der Axe derartig entſprechend genommene Curven, daſs in der winkelrecht zur Axe geſtellten lothrechten Ebene der erzeugenden Bogenlinie zwei zuſammengehörige Kämpferpunkte in jeder Stellung dieſer Ebene immer denſelben urſprünglichen Abſtand von der Axe behalten, ſo entſteht die Laibung eines **Ringgewölbes** oder des **ringförmigen Tonnengewölbes** (Fig. 275). Am häufigſten wird die Gewölbaxe kreisförmig oder elliptiſch (nur als Halbkreis, bezw. als halbe Ellipſe oder vollſtändig geſchloſſen) zur Anwendung gebracht. Bei Bruchſtein- und Backſteinmaterial entſtehen bei der Herſtellung ſolcher Ringgewölbe verhältniſsmäſsig keine gröſseren Schwierigkeiten; bei Anwendung von Hauſteinmaterial ſind die einzelnen Wölbſteine nach einem leicht zu ermittelnden Fugenſchnitte zu bearbeiten. Tritt an die Stelle der krummlinigen Gewölbaxe eine gebrochene gerade Linie, d. h. ein Polygonalzug, ſo entſteht eine Nebenart des Ringgewölbes, welche mit dem Namen **polygonales Tonnengewölbe** bezeichnet wird. Hierbei treten die Tonnengewölbe der einzelnen Seiten des Polygons über den Ecken der Axe in einem gemeinſchaftlichen Grat zuſammen.

Fig. 274.



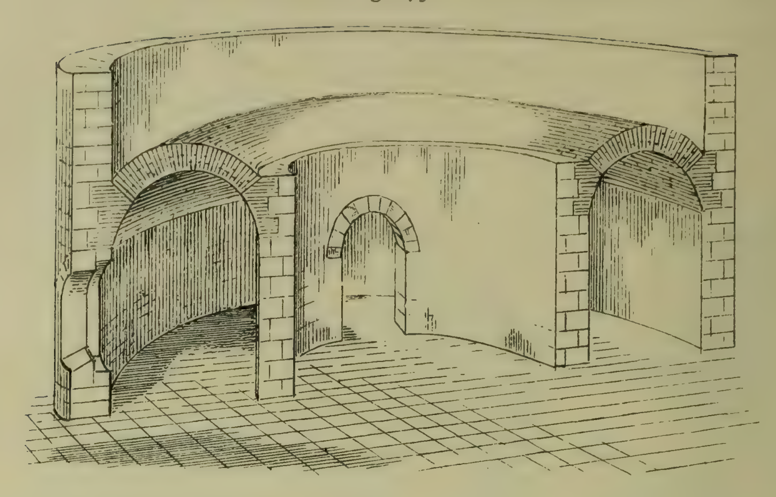
Schnitt AD.



533.
Tonnengewölbe mit Stichkappen.

Schneiden die Gewölbflächen kleinerer Tonnengewölbe das eigentliche Hauptgewölbe, ſo nennt man die erſteren **Stichkappen** oder **Lunetten** und das ganze Syſtem ein **Tonnengewölbe mit Stichkappen**. Der Umſtand, daſs bei niedrig gehaltenen Widerlagern der Tonnengewölbe die Höhe des nutzbaren Raumes unter den Kämpferlinien die Anlage von nur mäſsig hohen Licht- oder Durchgangsöffnungen

Fig. 275.



geſtattet, hat darauf geführt, an den Widerlagsmauern gleichſam noch weitere Durchbrechungen des Tonnengewölbes eintreten zu laſſen, um hierdurch nicht allein durch ſchlankere und mit guten Verhältniſſen verſehene Oeffnungen eine beſſere Beleuchtung und Zugänglichkeit des überwölbten Raumes zu erzielen, als ſolches durch Oeffnungen in den Stirnmauern allein möglich wird, ſondern auch den Eindruck der Schwere und des Ernſtes, welchen ein Tonnengewölbe an und für ſich macht, mehr und mehr zu mildern. Tonnengewölbe mit Stichkappen ſind, in wirklicher Pracht und groſsem Reichthum ausgeſtattet, bei den hervorragenden Bauwerken italieniſcher Renaiſſance zur Ausführung gekommen und können ſich nach wie vor einer groſsen Beliebtheit erfreuen. Die Stichkappen ſelbſt haben, als kleine Tonnengewölbe genommen, eine wagrechte, eine ſchräg auffteigende oder abfallende oder auch eine gebrochene gerade Linie, ſeltener eine krumme Linie zur Axe. Ihre Bogenlinie entſpricht den Bogenlinien des Tonnengewölbes überhaupt.

Unter c wird bei der Beſprechung der Ausführung der Stichkappen noch die genaue Ausmittelung und das Einfügen derſelben in das zugehörige Hauptgewölbe beſchrieben werden. Hier möge nur einſtweilen der Einfluſs der Stichkappen auf die Geſammtbildung des Tonnengewölbes mit Stichkappen gekennzeichnet werden.

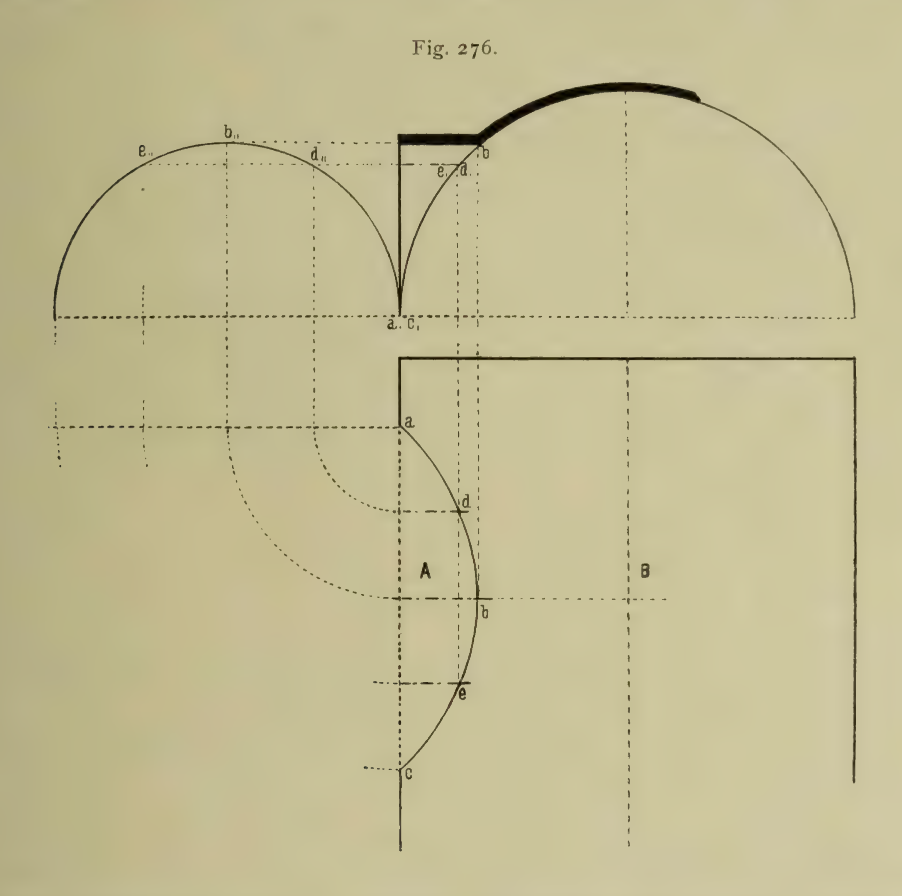
In Fig. 276 iſt im Grundriſs *A* die Laibungsfläche der Stichkappe mit halbkreisförmiger Bogenlinie und *B* die Laibungsfläche des Hauptgewölbes, deſſen erzeugende Bogenlinie gleichfalls ein Halbkreis iſt. Beide Gewölbe haben dieſelbe wagrechte Ebene als Kämpferebene und gerade Gewölbaxen, welche ſich rechtwinkelig treffen. Die Laibungsflächen *A* und *B* ſchneiden ſich, wie aus Fig. 276 erſichtlich iſt, in einer leicht zu beſtimmenden Durchdringungslinie *a b c*, welche hier, wie auch im Allgemeinen meiſtens bei der Wahl einer beſtimmten Bogenlinie für die Stichkappe der Fall iſt, nicht allein an und für ſich, ſondern im Beſonderen in der wagrechten Projection als Curve auftritt. In gleicher Weiſe würde auch die Durchdringungslinie für die Rückenflächen der beiden Gewölbe zu ermitteln ſein. Die Fläche zwiſchen dieſen beiden Durchdringungslinien trennt die Stichkappe vom Hauptgewölbe, und dieſelbe kann als Laibungsfläche eines beſonderen, mit beſtimmter Stärke behafteten Gewölbes auftreten, welches ſich, mit regelrechtem Fugenſchnitte verſehen, an das Hauptgewölbe ſchmiegend und in daſſelbe legend, als Stütze für

die antretenden Wölbſteine deſſelben dienen, gleichzeitig aber für das in das Hauptgewölbe geſteckte kleinere Stichkappen-Gewölbe den Anſchluſs und die weitere Stütze gewähren muſs.

Hierin iſt der Grundſatz für die Conſtruction der Stichkappen ausgeſprochen.

So gut nun die wagrechte Projection der Durchdringungslinien, ſei die innere oder äuſsere Wölbfläche dabei in Betracht genommen, neben der Bogenlinie des Hauptgewölbes von der Bogenlinie der Stichkappe abhängig gemacht wird, eben ſo gut kann auch umgekehrt dieſe Bogenlinie bei gegebenem Hauptgewölbe von einer beſtimmten, vorweg vorgeſchriebenen wagrechten Projection der Durchdringungslinie abhängig gemacht und unter Berückſichtigung der ſonſt als unveränderlich feſt

Fig. 276.



liegenden Beſtimmungsſtücke des übrigen Gewölbkörpers ermittelt werden. Und gerade unter Benutzung dieſer Freiheit iſt eine fernere Grundlage für die weitere Entwickelung des Tonnengewölbes erworben, welche ſich bei der Anordnung der ſog. Netzgewölbe, die ſpäter einer beſonderen Betrachtung unterzogen werden müſſen, in gewiſſem Grade Geltung verſchafft.

In Fig. 277 iſt A die wagrechte Projection der Laibungsfläche der Stichkappe und B diejenige der halbkreisförmigen Laibungsfläche des Hauptgewölbes. Beide Gewölbe beſitzen dieſelbe wagrechte Kämpferebene. Die Weite der Stichkappe ſei ac.

Die wagrechte Projection der Durchdringungslinie ſoll die gebrochene gerade Linie abc ſein, deren Stücke Seiten eines gleichſchenkeligen Dreieckes mit der Grundlinie ac bilden. Die hiernach zu findende Bogenlinie ahc der Stichkappe iſt aus Bogenſchenkeln zuſammengeſetzt, welche im vorliegenden Falle Ellipſen angehören und, wie aus Fig. 277 hervorgeht, in leicht erſichtlicher Weiſe gefunden werden

können. So ift z. B. $fh = ik$ und $qr = ut = mn$. Man erhält alfo für das in das Hauptgewölbe gefteckte Gewölbe einen »elliptifchen Spitzbogen« als erzeugende Bogenlinie.

In der lothrechten Ebene ab erfcheint die Durchdringungslinie als Theil az einer Ellipfe, welche im Viertel als azw dargeftellt und deren halbe grofse Axe av, deren halbe kleine Axe vw gleich dem Halbmeffer xy der Bogenlinie des Hauptgewölbes ift. Im Schnitt fg ift C die lothrechte Projection der Stichkappenfläche.

Fig. 277.

Werden an den Widerlagern des Hauptgewölbes die Einfügungen der Stichkappen in beftimmten, regelmäfsigen Abftänden wiederholt, fo entfpringt eine mannigfaltige Gliederung des Hauptgewölbes und gleichzeitig eine fachgemäfse Auflöfung der Maffen der Widerlagsmauern in einzelne, wenn auch kräftige, doch im Allgemeinen günftig in die Erfcheinung tretende Pfeiler.

Läfft man die vorhin fchon erwähnten befonderen Anfchlufsgewölbe der Stichkappen an den Durchdringungslinien felbftändig an der inneren Laibungsfläche des Hauptgewölbes vortreten und durch das ganze Gewölbe ziehend erweitern; ordnet man, da diefe vorfpringenden Theile, wie gezeigt, elliptifchen Bogen entfprechen, mehrere folcher elliptifcher Gewölbbogen, »Rippen« genannt, in planmäfsiger und decorativer Weife für das ganze Syftem an, fo wird die Gewölbfläche in Mufter zerlegt und mit einem Netz von Rippen verfehen. Durch diefe Anordnung ift der Vorläufer für das eigentliche »Netzgewölbe« erzeugt. Treten hier die Rippen nur als ein Schmuck der Tonnengewölbe auf, fo werden diefelben bei den Netzgewölben des Mittelalters als eigentliche Träger der Füllgewölbe der einzelnen Felder oder Mafchen des Netzes in Anfpruch genommen und bieten damit ein Mittel für eine reiche und reizvolle Durchbildung gewölbter Decken nicht allein bei regelmäfsig, fondern auch, da die Netzbildung weit gehende Freiheiten geftattet, bei unregelmäfsig im Grundrifs auftretenden Räumen.

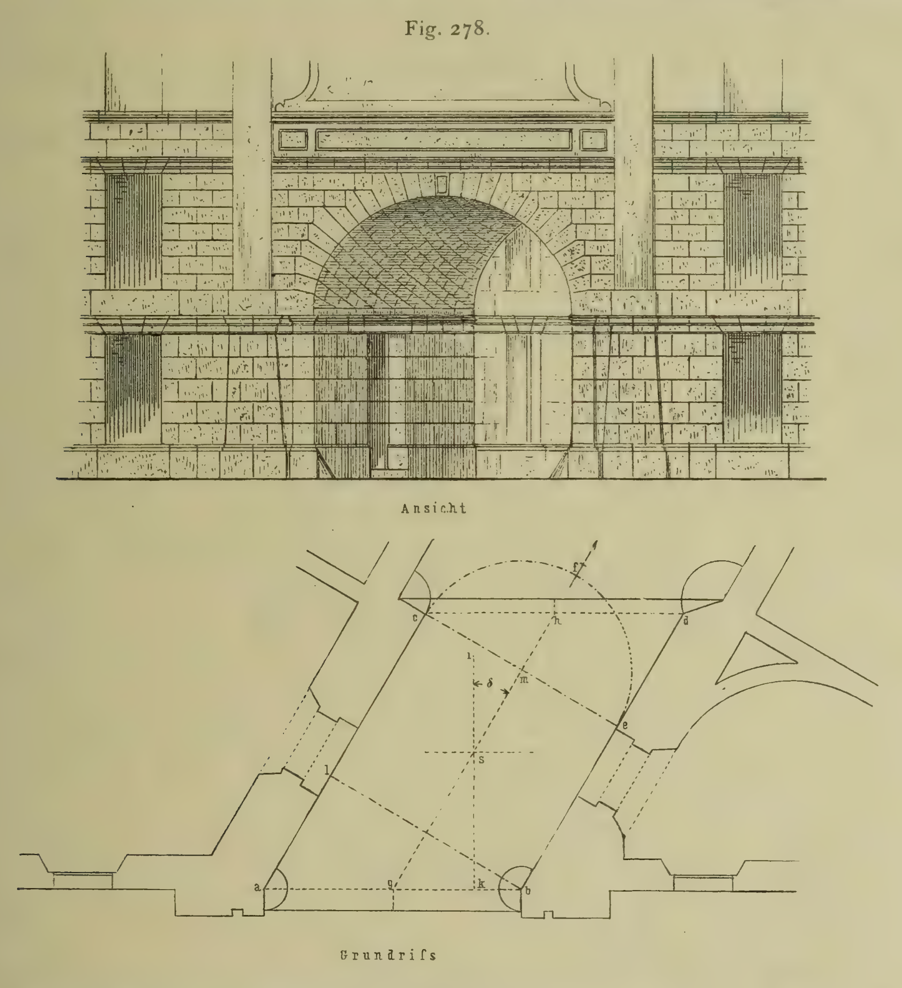
134.
Schiefes Tonnengewölbe

Ift die Gewölbaxe gh eines Tonnengewölbes (Fig. 278) nicht rechtwinkelig zur Stirnebene ab, bezw. cd eines Gewölbes gerichtet, fo entfteht ein **fchiefes Gewölbe**. Als Mafs der Schiefe gilt die Gröfse des Winkels δ, um welchen die Richtung der Gewölbaxe von dem Lothe ik zur Stirnebene abweicht. Wenngleich die fchiefen Gewölbe im Hochbauwefen thunlichft vermieden werden, fo können

doch Fälle eintreten, wie z. B. bei Durchfahrten u. f. w., welche die Ausführung fchiefer Gewölbe unter Umftänden erforderlich machen.

Von gröfster Bedeutung für die Durchbildung der fchiefen Gewölbe ift die zweckmäfsige Anordnung der Lager- und Stofsfugenflächen derfelben. Würden die Lagerfugenflächen als Ebenen behandelt, deren Kanten gerade Linien, parallel zu den Widerlagslinien *ac*, bezw. *bd* geführt, fein follten, fo würden, wenn diefe Ebenen — möchten diefelben auch fenkrecht auf der cylindrifchen Laibungsfläche ftehen, deren Erzeugende der Normalfchnitt *cfe* des fchiefen Gewölbes ift — bis an die Stirnen des Gewölbes durchtreten, die aus den einzelnen Wölbfteinen gebildeten

Fig. 278.



Gewölbftücke über den dreieckigen Grundflächen *abl* und *dec* bei *b* und *c*, wo diefelben in einer Linie endigen, kein Widerlager befitzen, alfo, wenn nicht befondere gekünftelte Anordnungen und Verankerungen diefer Gewölbftücke eingeführt würden, nicht ftandfähig fein. Würden bei einer derartigen Wahl der Lagerfugenflächen die Stofsfugenflächen in Ebenen liegend genommen, welche rechtwinkelig zu den Lagerflächen ftehen, fo würden auch an den Stirnen die Wölbfteine eine mangelhafte Stützfläche erhalten, während, wenn die Stofsflächen in Ebenen genommen werden, welche parallel zur Stirnebene ftehen, der letzte Uebelftand wohl gehoben, aber der Mangel des Widerlagers in den Punkten *b* und *c* nicht befeitigt würde.

Zur Vermeidung dieſer Miſsſtände iſt von der gewöhnlichen Anordnung des beim geraden Tonnengewölbe auszuübenden Fugenſchnittes, wonach ſowohl die Lagerflächen als auch die Stoſsflächen in Ebenen liegen, welche je für ſich rechtwinkelig zur Laibungsfläche des Gewölbes ſtehen, bei den ſchiefen Tonnengewölben abzuweichen, und hierfür der ſog. ſchiefe Fugenſchnitt in Anwendung zu bringen. Als Regel für dieſen ſchiefen Fugenſchnitt gilt meiſt die Beſtimmung, daſs:

1) die Lagerfugenkanten auf der Laibungsfläche des Gewölbes ſowohl rechtwinkelig zur Stirn, als auch rechtwinkelig zu jedem ferneren parallel zur Stirnebene genommenen Stirnſchnitte ſtehen;

2) die Stoſsfugenkanten rechtwinkelig zu den Lagerkanten gerichtet, alſo parallel zur Stirnlinie ſind;

3) die Erzeugenden der Lagerfugenflächen ſenkrecht zur Laibungsfläche des Gewölbes ſtehen, und auch

4) die Erzeugenden der Stoſsfugenflächen ſenkrecht zur Gewölbfläche gerichtet ſind.

Die ſtrenge Befolgung dieſer Regel liefert den ſog. »franzöſiſchen oder orthogonalen Fugenſchnitt«, während ein Näherungsverfahren bei der Anordnung der Lagerfugen- und Stoſsfugenkanten zu dem in vielen praktiſchen Fällen brauchbaren und weit einfacher zu handhabenden ſog. »engliſchen Fugenſchnitt« führt.

Der »franzöſiſche Fugenſchnitt« geſtaltet ſich mit Bezugnahme auf Fig. 279 in der folgenden Weiſe.

Der Normalſchnitt der im Grundriſs als $abcd$ gegebenen Laibungsfläche eines ſchiefen Gewölbes iſt als Halbkreis afe angenommen und hiernach die Abwickelung der cylindriſchen Gewölbfläche $a b_1 d_1 c$ beſtimmt. Für den beliebigen Punkt p der abgewickelten Stirnlinie $a b_1$ iſt $as = x$ gleich der Bogenlänge ag und $sp = y = ih$. Iſt der Punkt p, entſprechend dem Punkte h, der Ausgangspunkt einer Lagerkante an der Stirn des Gewölbes, ſo muſs die Lagerkante pt in der Abwickelung der Laibungsfläche in jedem ihrer Elemente rechtwinkelig zu dem ihr zugehörigen Elemente eines Stirnſchnittes (z. B. CD_1, hervorgerufen durch eine parallel zum Haupte des Gewölbes geführte lothrechte Ebene CD) ſtehen, iſt alſo eine krumme Linie, welche ein Syſtem von gleichartigen krummen Linien (die Stirnſchnittlinien) unter demſelben Winkel, hier unter einem rechten Winkel ſchneidet, d. h. eine Orthogonal-Trajectorie. Wird eine ſolche Trajectorie für den Scheitelpunkt l als die Curve lv beſtimmt, ſo erhält man die für die Anordnung des franzöſiſchen Fugenſchnittes wichtige »Scheiteltrajectorie« des ſchiefen Gewölbes.

Um dieſelbe durch Rechnung feſt zu legen, kann man ihre im Folgenden entwickelte Gleichung benutzen.

Bezeichnet r den Halbmeſſer des für den Normalſchnitt ae gewählten Kreisbogens (hier ein Halbkreis), β das Bogenmaſs für den Halbmeſſer 1 und α den Winkel der Schiefe, ſo iſt, bei Annahme des rechtwinkeligen Coordinaten-Syſtemes XY mit dem Anfangspunkte a, für einen beliebigen Punkt p (x, y) der »abgewickelten Stirnlinie« $a b_1$, die Abſciſſe as gleich der Bogenlänge ag, d. h.

$$x = r\beta \, , \qquad \qquad 111.$$

oder, wenn der zugehörige Centriwinkel amg des Bogens ag eine Gröſse von β Graden beſitzt, ſofort

$$x = r \frac{\pi}{180^0} \beta^0 \qquad \qquad 112.$$

Die Ordinate $y = sp$ des betrachteten Punktes p wird, da $sp = ih$ und

$$ih = ia \cdot \operatorname{tg} \alpha = (r - mi) \operatorname{tg} \alpha = (r - r \cos \beta) \operatorname{tg} \alpha$$

ift, durch

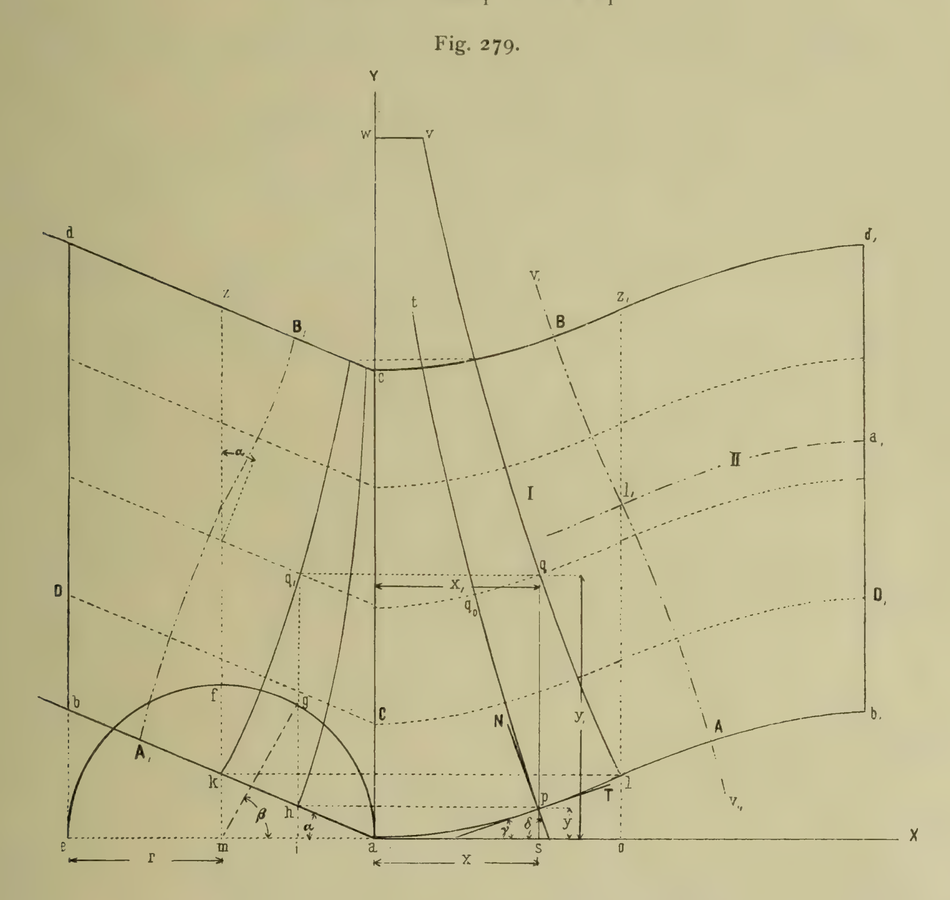
$$y = \operatorname{tg} \alpha \, (1 - \cos \beta) \, r \quad \ldots \ldots \ldots \quad 113.$$

beftimmt.

Für die im Punkte p beginnende Trajectorie pt ift, wenn für diefen Curvenpunkt nur zur Unterfcheidung von der abgewickelten Stirnlinie die Coordinaten x_1, y_1 ftatt x, y eingeführt werden, in Bezug auf die Tangente pN im Elemente p der Trajectorie

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{dy_1}{-dx_1} = -\frac{dy_1}{dx_1} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 114.$$

Fig. 279.



Nun ift aber, da pN rechtwinkelig auf der im Elemente p der Stirnlinie ab_1 vorhandenen Tangente pT ftehen foll, $\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg}(90 - \delta) = \operatorname{cotg} \delta = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta}$ oder

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\operatorname{tg} \gamma}; \quad \ldots \ldots \ldots \quad 115.$$

mithin unter Benutzung von Gleichung 114

$$dy_1 = -\frac{dx_1}{\operatorname{tg} \gamma},$$

oder, da für den Punkt p auch $x_1 = x$, alfo $dx_1 = dx$ ift, auch

$$dy_1 = -\frac{dx}{\operatorname{tg} \gamma} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 116.$$

Nun ift auch $\operatorname{tg}\gamma = \frac{dy}{dx}$ und aus Gleichung 111 folgt

$$dx = r \,.\, d\beta; \quad \ldots \ldots \quad 117.$$

ferner erhält man aus Gleichung 113: $dy = r \operatorname{tg}\alpha \,.\, \sin\beta \,.\, d\beta$; mithin wird

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{r \operatorname{tg}\alpha \,.\, \sin\beta\, d\beta}{r \,.\, d\beta} = \operatorname{tg}\alpha \,.\, \sin\beta \,.\quad \ldots \ldots \quad 118.$$

Unter Einführung der Werthe aus den Gleichungen 117 u. 118 in Gleichung 116 erhält man

$$dy_1 = -\frac{r \,.\, d\beta}{\operatorname{tg}\alpha \,.\, \sin\beta} \quad \ldots \ldots \quad 119.$$

als Differentialgleichung der Trajectorie. Durch Integration diefer Gleichung ergiebt fich

$$y_1 = -\frac{r}{\operatorname{tg}\alpha} \log.\ \text{nat.}\ \frac{\operatorname{tg}\beta}{2} + \text{Conft.} \quad \ldots \ldots \quad 120.$$

Für die Conftante ift zu beachten, dafs für den Scheitelpunkt l

$$y = y_1 = ol = mk = r \,.\, \operatorname{tg}\alpha \quad \ldots \ldots \quad 121.$$

und $\sphericalangle\,\beta = \sphericalangle\,amf = 90$ Grad wird. Da $\frac{\beta}{2} = 45$ Grad, $\operatorname{tg} 45^0 = 1$ und der natürliche Logarithmus der Zahl 1 gleich Null ift, fo folgt unter Benutzung der Ausdrücke 120 u. 121

$$r \,.\, \operatorname{tg}\alpha = \text{Conft.},$$

und hiernach nimmt Gleichung 120 die Form an:

$$y_1 = \left(\operatorname{tg}\alpha - \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha} \log.\ \text{nat.}\ \operatorname{tg}\frac{\beta}{2}\right) r, \quad \ldots \ldots \quad 122.$$

wodurch die Gleichung der »Scheiteltrajectorie des fchiefen Tonnengewölbes mit kreisförmigem Normalfchnitt« ausgedrückt ift.

Beifpiel. Der Winkel α der Schiefe betrage $22^0\,30'$. Alsdann ift

$$\operatorname{tg}\alpha = 0{,}4142 \quad \text{und} \quad \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha} = 2{,}4143.$$

Entfprechend den Gleichungen 112, 113 u. 122 ift für einige Werthe von β die folgende Tabelle für die Stirnlinie und Scheiteltrajectorie

Winkel der Schiefe $\alpha = 22^0\,30'$				
β	Stirnlinie		Scheiteltrajectorie	
	x	y	$x_1 = x$	y_1
0	0	0	0	∞
30	0,5236	0,0555	0,5236	3,5938
60	1,0472	0,2071	1,0472	1,7402
75	1,3090	0,3070	1,3090	1,0544
90	1,5708	0,4142	1,5708	0,4142
Grad	r	r	r	r

berechnet. In Fig. 279 ift $\alpha = 22^0\,30'$ und $r = 3^{\text{m}}$ genommen. Für $\beta = 60^0$ ergiebt fich für den Punkt q der Scheiteltrajectorie lv demnach die Abfciffe $x_1 = as =$ Bogen $ag = 1{,}0472 \,.\, 3 = 3{,}1416^{\text{m}}$; die Ordinate $y_1 = sq = 1{,}7402 \,.\, 3 = 5{,}2206^{\text{m}}$.

Ift in einem gegebenen einzelnen Falle die Scheiteltrajectorie lv in Verbindung mit der halben abgewickelten Stirnlinie al und der Widerlagslinie aY durch Zeichnung feft gelegt, fo kann das Flächenftück $alvw$ ohne Weiteres als Lehre (Schablone) zur Beftimmung der fämmtlichen Lager- und Stofsfugenkanten auf der abgewickelten Laibungsfläche ab_1d_1c benutzt werden. Hierbei ift nur das Folgende zu berückfichtigen.

Die Scheitellinie lz_1 fcheidet die abgewickelte Fläche ab_1c_1d in die beiden Theile I und II. Für die Lager- und Stofskanten des Theiles I gleitet die Lehre mit ihrer Seite aw ftets an der Widerlagslinie ac fort, während für jene Kanten des Theiles II die Lehre an der mit ac parallelen Linie b_1d_1 fortzubewegen ift.

Ift z. B. p ein Theilpunkt der Gewölbftirn (Fugenpunkt) des Theiles I, fo führt man die Lehre mit ihrer Seite aw fo lange an ac entlang, bis die Curve lv mit einem Elemente durch den Punkt p läuft, und zeichnet alsdann das auf die Fläche I von lv fallende Curvenftück pt als Lagerkante vor. Die Stofsfugenkanten find am Stirnbogenftücke al vorzuzeichnen. Würde etwa der Punkt q der Ausgangspunkt einer folchen Kante fein, fo verfchiebt man die Lehre an ac fo lange, bis ein Element der Stirnlinie al durch q läuft, und zeichnet qq_0 als Stofskante ein.

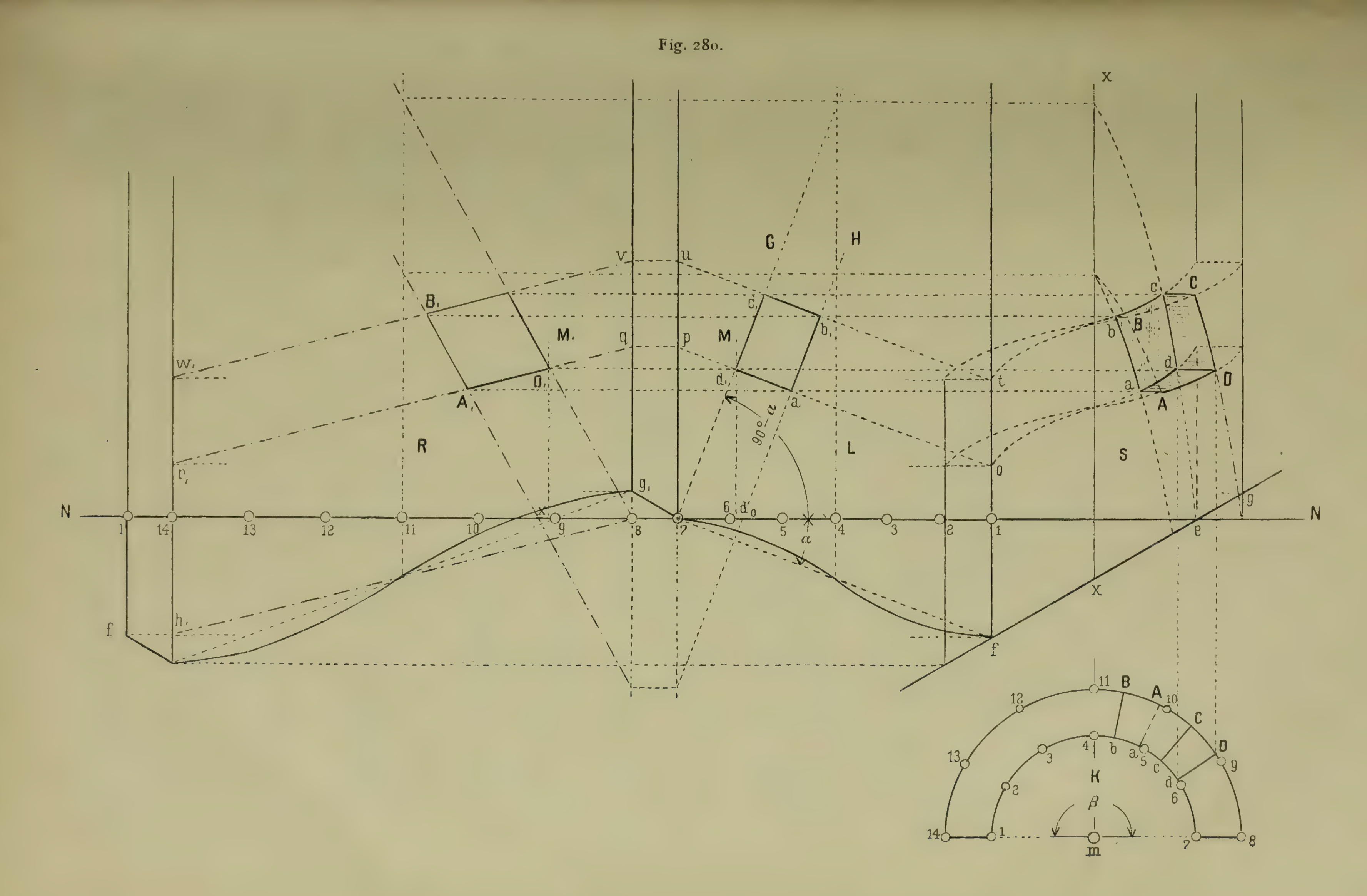
Ift dagegen A ein Fugenpunkt des Theiles II, fo läfft man bei umgekehrter Lage der Lehre die Seite aw fo an d_1b_1 gleiten, bis die Scheiteltrajectorie durch A zieht. Trifft eine folche Kante die Scheitellinie lz_1 in einem Punkte l_1, fo bildet diefer die Grenze der Lagerkante des Theiles II, und von hier aus ift die weiterziehende zugehörige Lagerkante l_1B des Theiles I wiederum diefem Theile entfprechend zu zeichnen. Die Stofskanten des Theiles II find mit Hilfe der Stirnlinie al, aber jetzt der Lage a_1l_1 gemäfs geführt, einzutragen.

Sind für die Eintheilung des Gewölbes fämmtliche Lager- und Stofskanten der Wölbfteine auf der abgewickelten Laibungsfläche deffelben eingezeichnet, fo bietet die Uebertragung derfelben in die wagrechte und lothrechte Projection des fchiefen Gewölbes keine Schwierigkeiten, wie auch unter Berückfichtigung der oben für die Stellung der Erzeugenden der Lager- und Stofsflächen unter 3 u. 4 gegebenen Beftimmungen die Ausmittelung diefer Flächen leicht erfolgen kann.

Der Umftand, dafs die Winkel, welche die Scheiteltrajectorie mit den zur Kämpferlinie parallelen geraden Mantellinien der Laibungsfläche bildet, vom Scheitelpunkte aus ftetig abnehmen, bis fie, da die Trajectorie fich der Kämpferlinie afymptotifch nähert (nach Gleichung 122 ift für $\beta = 0$ die Ordinate $y_1 = \infty$ gefunden) auch nach der Kämpferlinie hin immer mehr dem Werthe Null zufteuern, hat zur Folge, dafs bei der Ausführung, namentlich in Werkftücken, fämmtliche Steine einer Schicht verfchiedene Breiten und Geftaltungen erhalten und dafs, abgefehen von Steinen, welche fymmetrifch rechts und links zur Gewölbaxe bei forgfältiger Theilung im Gewölbkörper angeordnet find, alle Wölbfteine nach verfchiedenen Abmeffungen bearbeitet werden müffen, ja, dafs bei Kreisgewölben mit einigermafsen grofsem Centriwinkel felbft mehrere neben einander liegende Schichten fo dünn werden, dafs diefelben zu einer Schicht zu vereinigen find, um diefelben dann in geeigneter Breite gegen eine andere breitere Schicht treten zu laffen. Derartige im Gefolge der Beobachtung des ftrengen Fugenfchnittes ftehende Anordnungen erhöhen die Schwierigkeiten der Ausführung fchiefer Gewölbe in mancherlei Weife, und man bedient fich aus diefem Grunde häufig beim Fugenfchnitte der fchiefen Gewölbe eines Näherungsverfahrens.

Ein folches Verfahren befteht im Allgemeinen darin, dafs die Trajectorien auf der Abwickelungsfläche der Gewölbelaibung durch parallele gerade Linien erfetzt werden, welche, auf die Laibung zurückgebracht, Schraubenlinien für die Lagerkanten liefern. Die Stofskanten find in der Abwickelungsfläche wiederum rechtwinkelig zu den Lagerkanten genommene gerade Linien, welche, auf die Laibung übertragen, wiederum Schraubenlinien ergeben. Ift der Normalfchnitt und nicht der

Fig. 280.



Stirnbogen des fchiefen Gewölbes bei diefer Fugenanordnung ein Halbkreis oder ein Kreisfegment, fo ift man bei forgfältiger Theilung der Wölbfchichten im Stande, den fämmtlichen Wölbfteinen, mit Ausnahme der Stirn- und Kämpferfteine, congruente Laibungsflächen zu geben.

Die Lager- und Stofsflächen befitzen gerade Linien als Erzeugende, welche fenkrecht zur Laibung ftehen. Da die Lagerkanten in der Abwickelung parallele gerade Linien find, fo fchneidet jede derfelben die zur Kämpferlinie des Gewölbes parallelen Mantellinien ftets unter demfelben Winkel, dem »conftanten Fugenwinkel«.

Auf diefen Grundfätzen beruht der fog. »englifche Fugenfchnitt«, welcher in der Ausführung weit weniger Umftände verurfacht, als der vorhin befprochene franzöfifche Fugenfchnitt.

Zur näheren Erklärung des »englifchen Fugenfchnittes« möge Fig. 280 dienen.

In derfelben ift S ein Theil des Grundriffes des fchiefen Gewölbes mit der Axe XX, L die Abwickelung der inneren, R die der oberen Gewölbfläche und K der in der Ebene NN ftehende Normalfchnitt des Gewölbes, welcher als Halbkreis gewählt ift.

In der abgewickelten Gewölbfläche L ift die mafsgebende Lagerkante durch den an der Stirn befindlichen Kämpferpunkt 7, welcher dem Punkte e in S auf NN entfpricht, als gerade Linie $7G$ rechtwinkelig zur geraden Verbindungslinie $f7$ der Endpunkte der abgewickelten Stirnlinie gelegt, fo dafs $7G$ die Richtung aller Lagerkanten, G, H u. f. w., $f7$ die Richtung aller Stofskanten op, tu u. f. w., wobei letztere fonft für die einzelnen Wölbfchichten im Verbande ftehen, bezeichnet. Die Lagerkanten fchneiden die zu der Kämpferlinie ft parallelen Mantellinien unter dem conftanten Fugenwinkel α; die Stofskanten treffen diefe Mantellinien unter einem Winkel $90^0 - \alpha$.

Durch diefe Anordnung ergiebt fich die abgewickelte Laibungsfläche eines Wölbfteines z. B. als das Rechteck $a_1 b_1 c_1 d_1$.

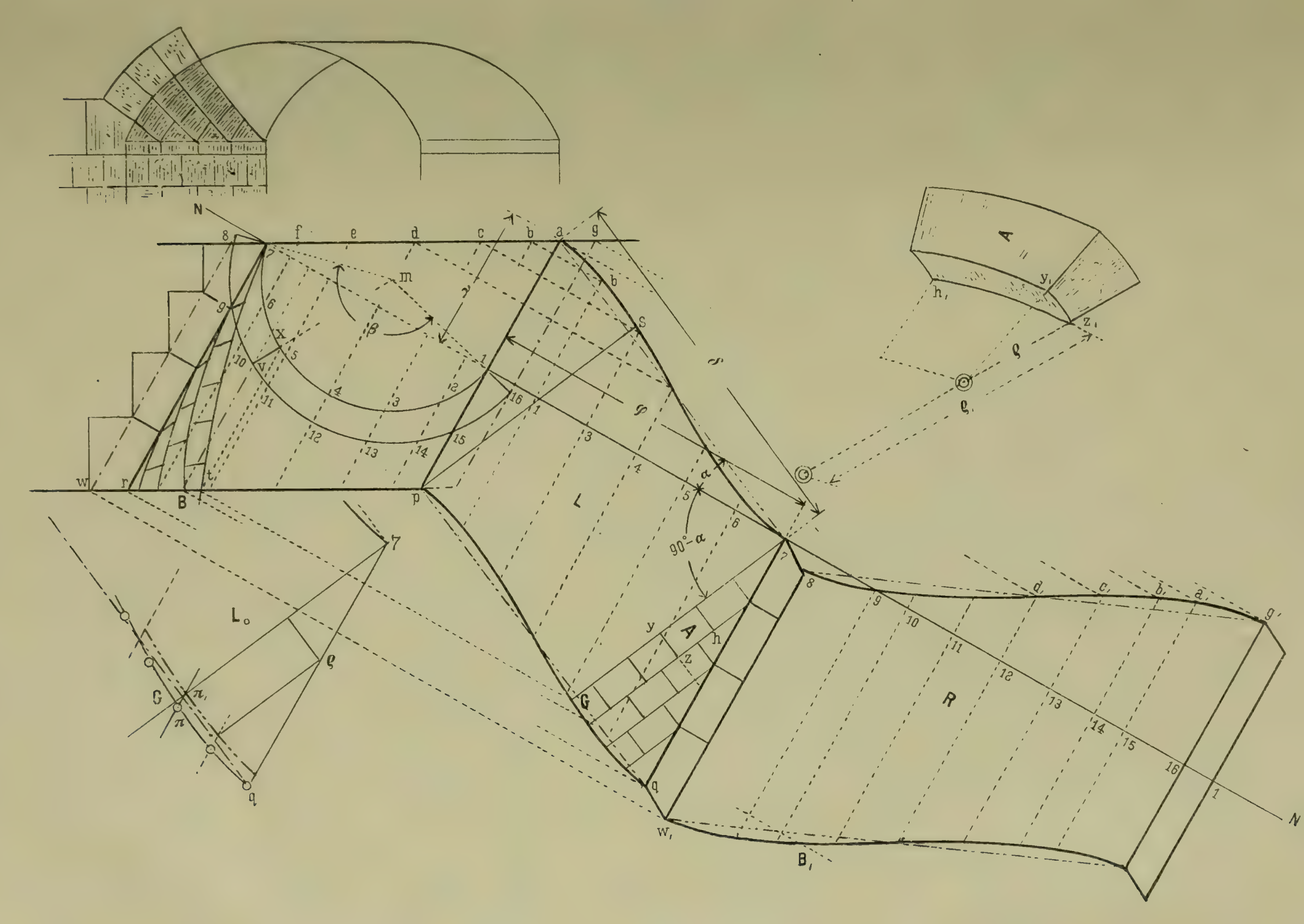
Zur Beftimmung der Lager- und Stofskanten auf der abgewickelten Rückenfläche R find diefelben, da die Fugenflächen, welche jene Kanten enthalten, auf der inneren Gewölbfläche fenkrecht ftehen follen, von den Lager- und Stofskanten der inneren Gewölbfläche abhängig zu machen. Der Punkt d_1, welcher der Lagerkante $7G$ angehört, liegt auf der zur Kämpferlinie $7u$ parallelen Mantellinie Md_0 der Laibungsfläche, um eine Bogenlänge $7d_0$ von der Kämpferlinie entfernt. Nimmt man demnach im Normalfchnitte K die zurückgeführte Bogenlänge $7d_0 = 7d$, fo ift, wenn in d die Normale dD bis zum Gewölbrücken gezogen wird, durch die Bogenlänge $8D$ die Mantellinie auf der oberen Gewölbfläche, welche den Punkt D_1 auf der oberen Abwickelung R enthalten mufs, in ihrer lothrechten Projection beftimmt.

Nimmt man ferner die Bogenlänge $8x$ in der Abwickelung R gleich der Bogenlänge $8D$, fo ift die durch x parallel zu $7u$, bezw. $g_1 v$ geführte gerade Linie xM_1 die gefuchte Mantellinie auf der Fläche R, in welcher D_1 enthalten ift. Der Punkt d_1 liegt aber auch auf der geraden Stofskantenlinie op; die Stofsfugenfläche fchneidet, da ihre Erzeugenden fenkrecht zur Gewölbfläche ftehen, die abgewickelte Widerlagsfläche $7g_1vu$ in einer zu 78 parallelen Geraden pq und ferner, der normalen Stellung jener Erzeugenden halber, die abgewickelte Rückenfläche R in einer zur geraden Verbindungslinie $8h_1$, alfo der abgewickelten Stofskante der oberen Gewölbfläche parallelen Geraden qr_1. Der Schnittpunkt derfelben mit der Mantellinie xM_1 ergiebt den gefuchten Punkt D_1, und die Gerade $8D_1$ bezeichnet die mafsgebende Lagerkante auf der Abwickelung R_1, während die mafsgebende Richtung der abgewickelten Stofskanten die Gerade $8h_1$ ift. Auf der abgewickelten Rückenfläche ift jedoch eine rechtwinkelige Durchkreuzung der Lager- und Stofskanten, wie folches auf der Abwickelung der Laibungsfläche der Fall ift, nicht vorhanden.

Beftimmt man auf ähnlichem Wege die Lage des Punktes A_1, fo geht durch denfelben die zu $8D_1$ parallel geführte Lagerkante $A_1 B_1$, und nunmehr wird es leicht, die obere Abwickelungsfläche $A_1 B_1 C_1 D_1$, welche der unteren Abwickelungsfläche $a_1 b_1 c_1 d_1$ eines Gewölbfteines entfpricht, in der aus Fig. 280 erfichtlichen Weife zu zeichnen.

Bringt man ferner die geraden Lager- und Stofsfugenkanten in die wagrechte Projection durch bekannte Operationen zurück, fo erhält man die Schraubenlinien, welche in ab und dc die Lagerkanten, in ad und bc die Stofskanten des gewählten Wölbfteines auf der inneren Laibungsfläche, dagegen in AB und DC die Lagerkanten und in AD und BC die Stofskanten deffelben auf der Rückenfläche des fchiefen Gewölbes enthalten, während die geraden Linien aA, bB, cC und dD die Grenzerzeugenden der als Schraubenflächen auftretenden Lager- und Stofsfugenflächen find.

Fig. 281.



Unter Beobachtung der für den englifchen Fugenfchnitt geltenden Grundfätze ift in Fig. 281 ein fchiefes Gewölbe, deffen Normalfchnitt ein Kreisbogen mit dem Centriwinkel β ift, in Rückficht auf die weitere Fugentheilung dargeftellt. Die mafsgebende Lagerkante $7G$ foll im Endpunkte 7 der Kämpferlinie $7q$ beginnen und auf der für die Stofskanten mafsgebenden Richtung $7a$ rechtwinkelig ftehen; gleichzeitig foll auch im günftigften Falle der auf der Stirnlinie pq liegende Endpunkt G diefer Lagerkante ein Theilpunkt für die Gewölbftirn werden. Die Anzahl der Wölbfteine an der Stirnfläche mufs aber, damit, wie bekannt, zu beiden Seiten des Schlufsfteines eine gleiche Zahl von Wölbfteinen vorhanden ift, eine ungerade fein. Theilt man nun die abgewickelte Stirnlinie unter Beobachtung fonft günftiger Breitenabmeffungen der Wölbfteine in eine folche ungerade Anzahl gleich grofser Strecken ein, fo wird im Allgemeinen ein folcher Gewölbtheilpunkt nicht fofort oder auch felbft nicht nach mehreren Theilverfuchen mit dem Punkte G zufammenfallen. Tritt diefer Umftand ein, fo verfährt man am beften, wenn man die Länge $7q$ der Kämpferlinie des Gewölbes, wie bei L_0 in Fig. 281 zu erfehen ift, um ein an und für fich meiftens geringes Stück $\pi\pi_1$ fo abändert, dafs die abgewickelte Stirnlinie durch den Punkt π_1 geht, welcher alsdann auch Endpunkt der mafsgebenden Lagerkante wird. Auf diefe verlegte Stirnlinie werden die Theilpunkte des Gewölbehauptes ohne Weiteres übertragen und durch diefelben die zu $7\pi_1$ parallelen Lagerkanten gezogen. Die auf Verband zu ordnenden Stofskanten richten fich zunächft nach den Punkten ρ, in welchen die Lagerkanten die Kämpferlinien treffen, und nunmehr ift die Theilung der einzelnen Wölbfchichten durch Stofskanten fo vorzunehmen, dafs, abgefehen von den Stirnfteinen, in allen Schichten lauter gleich lange Wölbfteine vorkommen.

Die Kämpferfteine bilden in ihrer Gefammtheit einen fägeförmigen Anfatz für die Wölbfchichten und erhalten unter der eigentlichen nur angearbeiteten Kämpferlinie ihrer Haltbarkeit halber ftets eine entfprechende Verftärkung (Ueberhöhung).

Die Stirnfteine bieten bei der Bearbeitung wohl einige Schwierigkeiten. Nur die rechts und links an den Häuptern fymmetrifch liegenden Steine werden gleich grofs und fymmetrifch geformt. Die Stirnfugen felbft find Schnittlinien der Schraubenflächen der Lagerflächen mit der Ebene der Stirn, alfo im Allgemeinen krumme Linien. Immerhin find alle diefe Umftände weit zurückftehend gegen die, welche fich bei der Herftellung der fchiefen Gewölbe nach dem franzöfifchen Fugenfchnitte geltend machen.

Für die keilförmige Verjüngung der eigentlichen Wölbfteine erhält man als Mafs Kreisbogen mit Radien ρ und ρ_1, welche in Fig. 281 für einen Wölbftein A eingefchrieben find. Durch die Anwendung diefer Kreisbogen kann die Formgeftaltung der Steine erleichtert werden.

Zur Beftimmung des Krümmungshalbmeffers ρ der Schraubenlinie für die Stofsfugenkante $z_1 y_1$ am Steine A ift die von der Geraden $7a$ abhängige Schraubenlinie mafsgebend. Mit Bezugnahme auf Fig. 281 ift, wenn r den Radius $m7$ des Normalfchnittes des Cylinders, auf welchem die Schraubenlinie liegt und α den Steigungswinkel $17a$ derfelben auf der Abwickelung L bezeichnet, allgemein

$$\rho = \frac{r}{\cos \alpha^2} \quad \ldots \ldots \quad 123.$$

Es ift aber $\cos \alpha = \frac{\varphi}{\delta}$, alfo

$$\cos \alpha^2 = \frac{\varphi^2}{\delta^2} = \frac{\varphi^2}{\varphi^2 + \gamma^2} \quad \ldots \ldots \quad 124.$$

Aus den Gleichungen 123 u. 124 folgt

$$\rho = \frac{r}{\frac{\varphi^2}{\varphi^2 + \gamma^2}} = \frac{r}{\varphi^2}(\varphi^2 + \gamma^2)$$

oder

$$\rho = r\left[1 + \left(\frac{\gamma}{\varphi}\right)^2\right] \quad \ldots \ldots \quad 125.$$

Für den Centriwinkel β des als Kreisbogen genommenen Normalfchnittes des fchiefen Gewölbes wird

$$\varphi = \frac{\pi r}{180^0} \beta^0 , \quad \quad 126.$$

wodurch Gleichung 125 übergeht in

$$\rho = r + \left(\frac{180^0 \, . \, \gamma}{\pi \beta^0} \right)^2 \frac{1}{r} \quad \quad 127.$$

Der Krümmungshalbmeffer ρ_1 der Schraubenlinie für die Lagerkante $z_1 h_1$ des Steines A ergiebt fich mit Hilfe der für diefe Schraubenlinie in der Abwickelung mafsgebenden Geraden $7G$, für welche der Steigungswinkel $17G = 90 - \alpha$ in Betracht kommt, durch den Ausdruck

$$\rho_1 = \frac{r}{\cos{(90 - \alpha)^2}} = \frac{r}{\sin{\alpha^2}} \quad \quad 128.$$

Nun ift $\sin \alpha = \frac{\gamma}{\delta}$, alfo

$$\sin \alpha^2 = \frac{\gamma^2}{\delta^2} = \frac{\gamma^2}{\gamma^2 + \varphi^2} . \quad \quad 129.$$

Aus der Verbindung von Gleichung 128 mit 129 folgt

$$\rho_1 = \frac{r}{\frac{\gamma^2}{\gamma^2 + \varphi^2}} = r \left[1 + \left(\frac{\varphi}{\gamma} \right)^2 \right] ,$$

oder, wenn für φ der Werth aus Gleichung 126 eingefetzt wird,

$$\rho_1 = r + \left(\frac{\pi \, r \, \beta}{180^0 \, \gamma} \right)^2 r . \quad \quad 130.$$

Ift der Normalfchnitt des fchiefen Gewölbes ein Halbkreis, wofür $\beta = 180$ Grad wird, fo erhält man für diefen befonderen Fall, entfprechend Gleichung 127,

$$\rho = r + \left(\frac{\gamma}{\pi} \right)^2 \frac{1}{r} \quad \quad 131.$$

und gemäfs Gleichung 130

$$\rho_1 = r + \left(\frac{\pi \, r}{\gamma} \right)^2 r . \quad \quad 132.$$

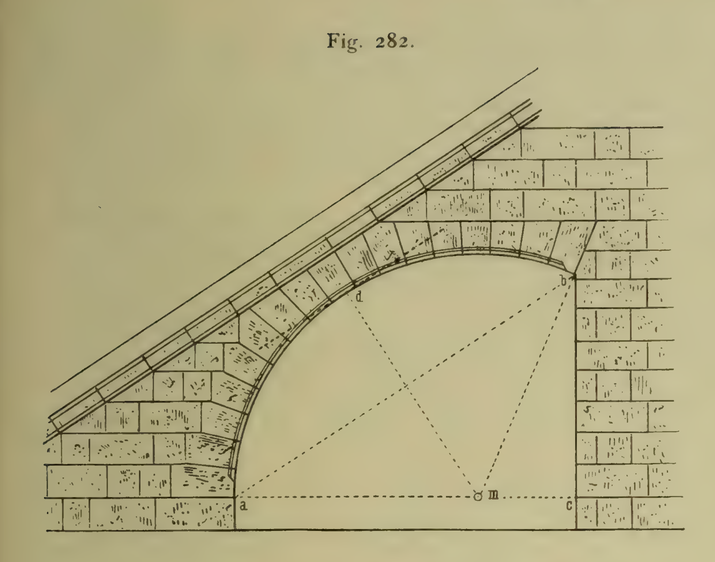
Noch möge hier die Bemerkung Platz finden, dafs die Anwendung des conftanten Fugenwinkels bei fchiefen Gewölben eine gewiffe Grenze hat, welche nicht überfchritten werden darf, wenn kein Ausbauchen der Gewölbftirnen eintreten foll. Diefer Punkt kann jedoch erft bei Befprechung der Ausführung der Tonnengewölbe (unter c) näher berührt werden, wobei dann ferner unter Berückfichtigung des zur Verwendung gelangenden Wölbmaterials auch noch die Verfahren gekennzeichnet werden follen, wonach in vereinfachter Weife die Herftellung von fchiefen Gewölben für etwa vorzunehmende Deckenbildungen erfolgen kann.

135.
Einhüftiges
Tonnengewölbe.

Liegen die wagrechten Kämpferlinien eines Tonnengewölbes (Fig. 282) in zwei verfchiedenen wagrechten Ebenen, fo heifst daffelbe kurz ein einhüftiges Gewölbe.

Der Abftand bc jener wagrechten Ebenen entfpricht der »Hüfthöhe«, während die wagrechte Entfernung ac der durch a und b gehenden lothrechten Ebenen die Spannweite des Gewölbes ergiebt.

Fig. 282.



Als Erzeugende der einhüftigen Gewölbe kann irgend eine gefetzmäfsig gebildete ebene Curve benutzt werden. Bei gegebenen Kämpferpunkten *a* und *b* kann in vielen Fällen ein Kreisbogen Verwendung finden, welcher im tiefftgelegenen Kämpferpunkte *a* eine lothrechte Tangente befitzt und fonft die gerade Verbindungslinie *ab* als Sehne erhält. Ein derartiger um *m* zu befchreibender, leicht zu beftimmender Kreisbogen hat in feinem Halbirungspunkte *d* eine parallel zu *ab* gerichtete Tangente, welche als allgemeine Richtungslinie für den vom Gewölbe getragenen Ueberbau gelten kann.

Nicht immer kann jedoch der Punkt *d* Halbirungspunkt der beabfichtigten erzeugenden Bogenlinie oder die allgemeine Richtungslinie nicht parallel der Verbindungslinie *ab* bleiben, fo dafs ein Kreisbogen nicht mehr ohne Weiteres als günftig für die Erzeugende des Gewölbes erfcheint. Da aufserdem in mancher Beziehung der Anfatz der Erzeugenden in den Kämpferpunkten mit lothrechter Tangente erwünfcht ift, fo fetzt man an die Stelle des Kreisbogens als Erzeugende fehr oft elliptifche Bogen oder Korbbogen.

In Fig. 283 ift die Erzeugende *acb* aus zwei Viertelellipfen *ac* und *bc* zufammengefetzt, welche in *a* und *b* lothrechte Tangenten, in dem fonft zwifchen *a* und *b* beliebig gewählten Punkte *c* eine gemeinfchaftliche Tangente *cx*, welche parallel zu *ab* zieht, befitzen. Die Punkte der einzelnen elliptifchen Bogen find durch die fog. Vergatterung ermittelt, wobei der um *b* befchriebene Viertelkreis *wx*, deffen Halbmeffer gleich der Strecke $c\gamma$ auf der durch den gegebenen Punkt *c* geführten Lothrechten *zu* ift, für die lothrechten Ordinaten der Ellipfenftücke mafsgebend wird.

Theilt man die Strecken γa, γb und den Halbmeffer *bw* des Viertelkreifes *wx* proportional, fo gehören den entfprechenden proportionalen Theilpunkten die aus dem Viertelkreife zu entnehmenden lothrechten Ordinaten den gefuchten Ellipfenpunkten an.

Die proportionale Theilung erfolgt einfach mit Hilfe des Dreieckes *aub*, deffen Spitze *u* beliebig auf der durch *c* geführten Lothrechten *zu* angenommen ift, und mittels des Dreieckes *bwv*, deffen Seite *bv* auf der Lothrechten *yb* gleich der Strecke γu gemacht wurde.

Zieht man durch den beliebig genommenen Punkt β_1 der Strecke γb die Lothrechte *gf*, wobei *f* auf *ub* liegt, alsdann durch *f* die Gerade *he* parallel zu *ab*, durch *e* die Lothrechte *ed*, fo ift $\beta_{,,}$ ein dem Theilpunkte $\beta_,$ der Strecke γb entfprechender proportionaler Theilpunkt der Strecke γa.

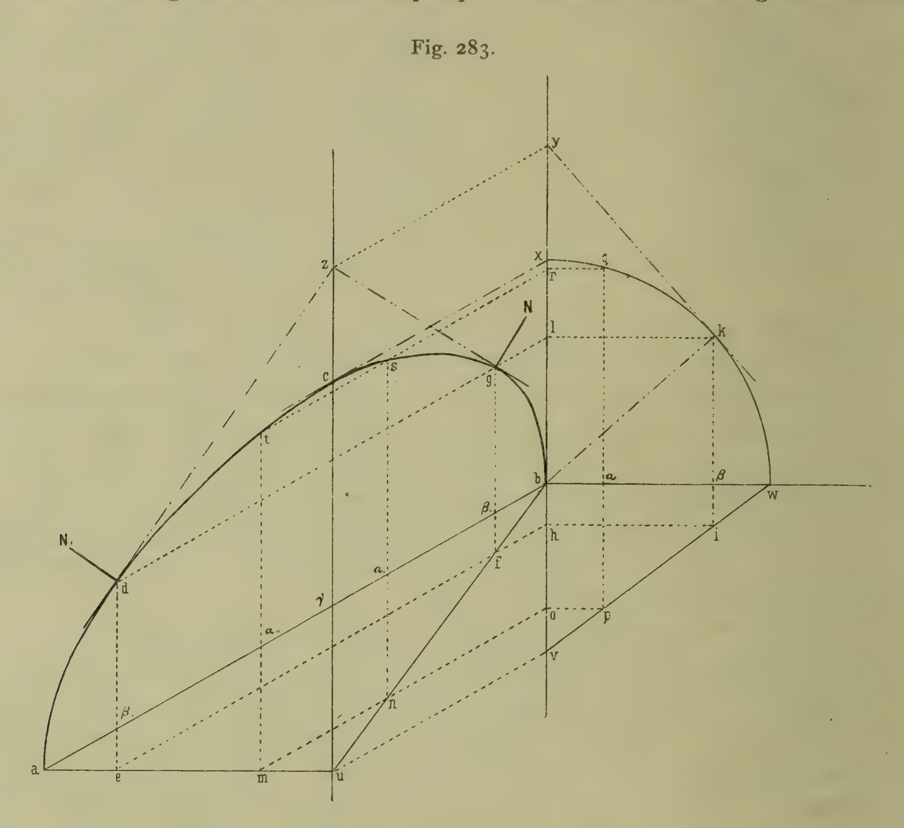
Führt man durch *h* den Strahl *hi* parallel *bw* und durch *i* die Lothrechte *ik*, fo ift β wiederum ein Punkt, welcher *bw* in demfelben Verhältniffe theilt, wie der Punkt β_1 die Strecke γb und der Punkt $\beta_{,,}$ die Strecke γa zerlegt. Die Ordinate βk des Viertelkreifes *wx* liefert die Länge der lothrechten Ordinaten $\beta_, g$ und $\beta_{,,} d$ für die gefuchten Punkte *d* und *g* der zugehörigen Viertelellipfen. Auf gleiche Weife find noch die Punkte *s* und *t* beftimmt.

Um die Normalen in einzelnen Ellipfenpunkten feft zu legen, verfährt man am einfachften wie folgt.

Soll dies z. B. für die einander zugeordneten Punkte g und d gefchehen, welche dem Punkte k des Viertelkreifes wx entfprechen, fo zieht man in k die Kreistangente bis zum Punkte y auf der Lothrechten by und nimmt γz auf der die beiden Viertelellipfen fcheidenden Lothrechten zu gleich der Strecke by. Die Strahlen zg und zd find Tangenten der zugehörigen Viertelellipfen in g und d. Das in g zu zg errichtete Loth gN ift die Normale in g, während das in d auf zd errichtete Loth dN_1 die Normale im Ellipfenpunkte d wird.

Ift der Punkt γ der durch c geführten Lothrechten zu der Halbirungspunkt der geraden Verbindungslinie ab der Kämpferpunkte, fo wird die Bogenlinie acb eine

Fig. 283.



halbe Ellipfe mit den halben conjugirten Durchmeffern $\gamma a = \gamma b$ und γc und mit γ als Mittelpunkt.

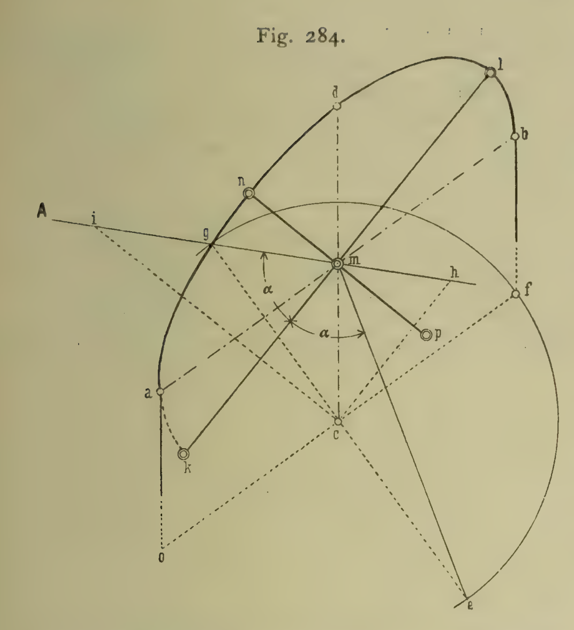
In folchem Falle ift die Ermittelung der Ellipfenpunkte eben fo zu bewirken, wie in Fig. 283 gezeigt wurde. Häufig ift es jedoch rathfam, die Ellipfe mit Benutzung ihrer reellen Axen zu zeichnen, deren Beftimmung in folgender Weife gefchehen kann [159]).

Es mögen in Fig. 284 ab als Verbindungslinie der Kämpferpunkte, $ma = mb$ und $mc = md$ als halbe conjugirte Durchmeffer der Ellipfe gegeben fein; gefucht werden die reellen Axen kl und np derfelben.

Man ziehe durch c die Gerade of parallel zu ab und nehme $cf = co$ gleich dem halben conjugirten Durchmeffer ma; alsdann befchreibe man um c mit dem Halbmeffer cf einen Kreis, welcher das in c auf of errichtete Loth in g und e trifft; verbinde den bekannten Mittelpunkt m der Ellipfe mit dem Punkte g durch den Strahl A und mit e durch die Gerade me und halbire den Winkel gme; alsdann giebt die Halbirungslinie mk diefes Winkels die Lage der einen reellen Axe und das in m auf mk errichtete Loth nmp die Lage der zweiten reellen Axe der Ellipfe.

159) Siehe: Jacob Steiner's Vorlefungen über fynthetifche Geometrie. Die Theorie der Kegelfchnitte, geftützt auf projectivifche Eigenfchaften. Bearbeitet von H. SCHRÖDER. Leipzig 1867.

Fig. 284.

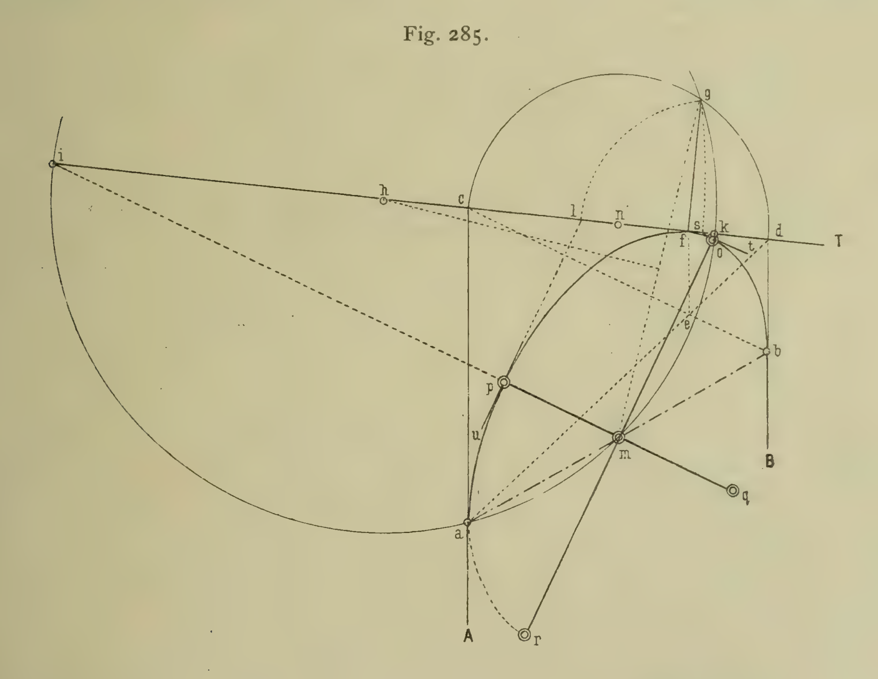


Um die Gröfse derfelben zu finden, ziehe man ch parallel zu mk und ci parallel zu pn; alsdann wird $mh = mp = nm$ gleich der halben Axe np und $mi = mk = ml$ gleich der halben Axe kl. Mit Hilfe diefer beiden reellen Axen ift die Ellipfe nach bekanntem Verfahren zu conftruiren.

Recht oft find die beiden lothrechten Tangenten der feften Kämpferpunkte a und b (Fig. 285), fo wie eine in beftimmter Richtung vorgefchriebene dritte Tangente für die elliptifche Erzeugende des einhüftigen Gewölbes gegeben, und hiernach ift die zugehörige Curve zu ermitteln. Mit Anwendung der Sätze der fynthetifchen Geometrie kann man fich in folchem Falle der in Fig. 285 gegebenen Löfung bedienen.

Die beiden durch die gegebenen Kämpferpunkte a und b gehenden Lothrechten A und B follen zwei parallele Tangenten der gefuchten Ellipfe fein; die dritte veränderliche, hier gegebene, Tangente fei T. Zur Beftimmung des Berührungspunktes f diefer Tangente mit der Ellipfe verbinde man die Schnittpunkte c und d des Strahles T mit den Tangenten A und B durch die geraden Linien ad und bc und ziehe durch den Schnittpunkt e derfelben den Strahl ef parallel zu A, bezw. B; alsdann ift f der

Fig. 285.



gefuchte Berührungspunkt. Errichtet man in f das Loth auf T und befchreibt man über cd einen Halbkreis um n, fo wird auf jenem Lothe ein Stück fg abgefchnitten, welches für die weitere Unterfuchung von Wichtigkeit ift (Potenz der Involution).

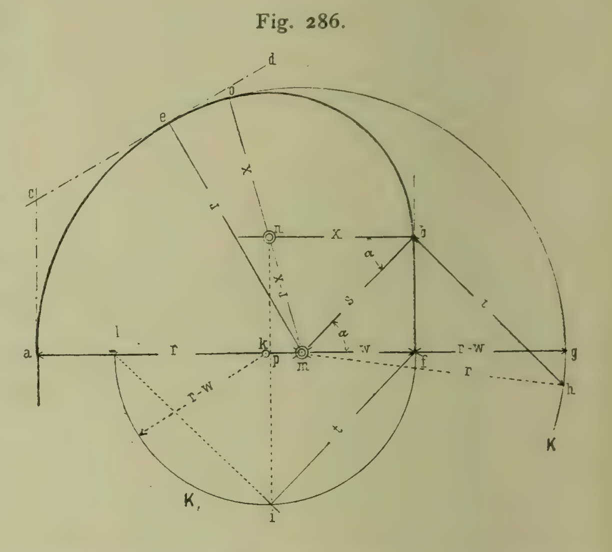
Legt man durch den Punkt m, welcher Mittelpunkt der Ellipfe ift, und durch den Punkt g einen Kreis, deffen Mittelpunkt h auf dem Strahle T liegt und welcher diefen Strahl in den Punkten i und k fchneidet, fo beftimmen die von i durch m und von k ebenfalls durch m geführten geraden Linien iq und kr die Lage der reellen Axen der gefuchten Ellipfe.

Um die Gröfse der Axen zu erhalten, befchreibe man um i mit dem Halbmeffer ig den Kreisbogen gs bis zum Punkte s auf T und ziehe st parallel zu im, bis mk im Punkte o gefchnitten wird; alsdann ift $mo = mr$ die Länge einer halben Axe der Ellipfe. Befchreibt man ferner um k mit dem Halbmeffer kg einen Kreisbogen, bis derfelbe den Strahl T in l trifft und zieht man lu parallel zu km, bis die Gerade im in p getroffen wird, fo ift $mp = mq$ die Länge der zweiten Halbaxe.

Nach Feftlegen diefer reellen Axen erfolgt ohne Weiteres das Zeichnen der erzeugenden elliptifchen Bogenlinie $apfob$ des einhüftigen Gewölbes.

Statt einer elliptifchen Bogenlinie läfft fich auch die Parabel als Erzeugende eines einhüftigen Gewölbes verwenden. Das Zeichnen derfelben kann in der in Fig. 262 (S. 154) angedeuteten Weife gefchehen, wenn in a und b bei verfchiedener Höhenlage derfelben auch lothrechte Tangenten angenommen werden und, der Lage der Punkte a, b und c entfprechend, die für die Ermittelung der Parabel mafsgebenden Dreiecke adc und bdc benutzt werden.

Fig. 286.



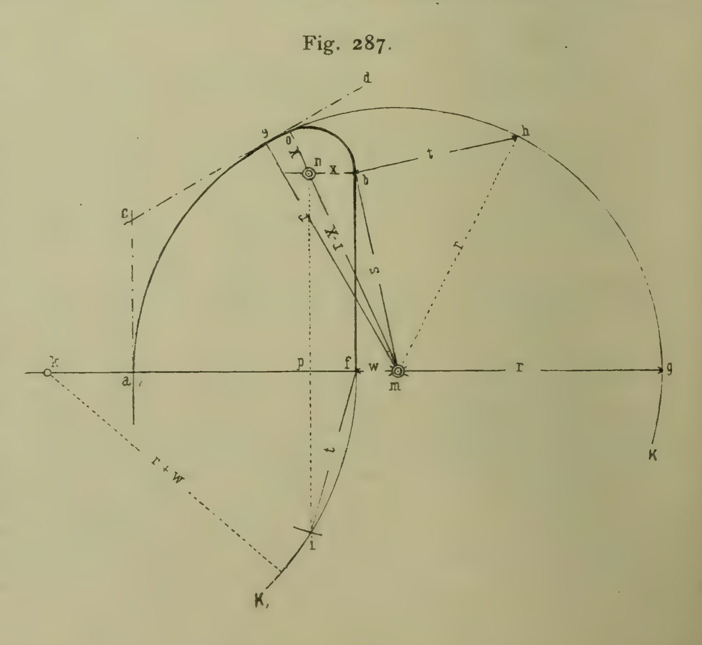
Statt der erwähnten Kegelfchnittlinien wählt man, wie früher fchon erwähnt, um in leichter Weife eine normale Fugenftellung zu erhalten, auch für einhüftige Gewölbe eine Korbbogenlinie als Erzeugende, die dann aus zwei oder mehreren Kreisbogen zufammengefetzt ift.

In Fig. 286 u. 287 find nach einer und derfelben Grundlage Korbbogen aus 2 Mittelpunkten befchrieben, welche in den meiften Fällen in ihrer Conftruction möglich find.

Die Kämpferpunkte a und b mit ihren zugehörigen lothrechten Tangenten, fo wie eine beliebige Gerade cd, welche Tangente des Korbbogens fein foll, find gegeben.

Nimmt man $ac = ce$ und errichtet in e das Loth em, fo fchneidet daffelbe die durch a geführte Wagrechte im Punkte m, welcher offenbar Mittelpunkt eines Kreifes ift, für welchen ac und cd Tangenten find und deffen Halbmeffer $ma = r$ eine nun bekannte Länge erhalten hat. Der Halbmeffer $bn = x$ des in b beginnenden Kreisbogens, welcher in diefem Punkte eine lothrecht gerichtete Tangente haben foll, fo wie der Mittelpunkt n deffelben und fein Vereinigungspunkt o mit dem erften Kreisbogen, wofelbft für beide Kreisbogen eine gemeinfchaftliche Tangente auftreten mufs, find unbekannt. Um zunächft die Gröfse des Halbmeffers x zu finden, befchreibe man um m mit dem Halbmeffer ma einen Kreisbogen K, welcher die verlängerte Gerade am im Punkte g fchneidet, ziehe die Linie mb und hierzu in b das

Fig. 287.



Loth bh, deſſen Endpunkt h dem Kreiſe K angehört. Nimmt man alsdann $fk = fg$ als Halbmeſſer eines um k beſchriebenen Kreiſes K_1, trägt $fi = bh$ von f als Sehne deſſelben ein und fällt man von i das Loth ip auf af, ſo iſt fp gleich dem geſuchten Halbmeſſer x.

Wird nunmehr in b rechtwinkelig zur lothrechten Tangente bf die Strecke $bn = x$ angetragen, ſo iſt n der Mittelpunkt des vom Kämpferpunkte b ausgehenden Kreisbogens. Zieht man endlich den gehörig verlängerten Strahl mn, ſo trifft derſelbe den erſten vom Kämpferpunkte a ausgehenden Kreis K im Punkte o, welcher Vereinigungspunkt für die beiden aus m und n beſchriebenen, den geſuchten Korbbogen bildenden Kreisbogen ao und ob wird.

Die gegebene Conſtruction iſt durch folgende, den Bezeichnungen in Fig. 286 u. 287 entſprechende Beziehungen begründet. In Fig. 286 liegt der Mittelpunkt m innerhalb der Spannweite af des Gewölbes. Im ſchiefwinkeligen Dreiecke mbn iſt

$$(r - x)^2 = s^2 + x^2 - 2sx \cdot \cos \alpha ,$$

oder, da $\cos \alpha = \frac{w}{s}$, auch

$$(r - x)^2 = s^2 + x^2 - 2wx ,$$

d. h.

$$2(r - w)\, x = r^2 - s^2.$$

Da ferner $r^2 - s^2 = t^2$, ſo ergiebt ſich

$$2(r - w)\, x = t^2$$

oder

$$\frac{x}{t} = \frac{t}{2(r - w)} , \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 133.$$

wonach t als mittlere Proportionale zwiſchen x und $2(r - w)$ auftritt.

Die beiden rechtwinkeligen Dreiecke fpi und fil ſind einander ähnlich, und es iſt

$$\frac{fp}{fi} = \frac{fi}{fl} ,$$

d. h. entſprechend der Gleichung 133

$$\frac{x}{t} = \frac{t}{2(r - w)} .$$

In Fig. 287 liegt der Mittelpunkt m des Kreiſes K auſserhalb der Spannweite af; mithin wird die Strecke w negativ, und man erhält unter Einführung von $-w$ ſtatt w in Gleichung 133 für dieſen Fall

$$\frac{x}{t} = \frac{t}{2(r + w)} , \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 134.$$

wonach der um k zu beſchreibende Kreis K_1 einen Halbmeſſer $fk = r + w$ zu erhalten hat, während die übrigen Anordnungen ſich nicht ändern.

Fig. 288.

In Fig. 288 ſind für verſchiedene Hüfthöhen fb, fb_1 u. ſ. f. nach dem angegebenen Verfahren die zugehörigen Korbbogen aus 2 Mittelpunkten gezeichnet. Hierbei mag bemerkt werden, daſs eine Grenzlage für den Kämpferpunkt b in einer Hüfthöhe fb_1 entſteht, ſobald der Mittelpunkt n_1 des von b_1 ausgehenden Kreisbogens der Schnittpunkt der Halbirungslinie des Winkels cpf, welchen die beiden Tangenten cd und fb bilden, mit der Senkrechten mo_1 auf cd wird. Iſt die Hüfthöhe kleiner als fb_1, z. B. gleich $fb_{,,}$, ſo tritt eine parallele Verſchiebung der urſprünglichen Tangente cd nach q

ein, und der Vereinigungspunkt $o_{,,}$ der beiden Korbbogenkreife liegt unterhalb von q.

Bei Korbbogen für einhüftige Gewölbe, mit mehr als 2 Mittelpunkten, z. B. aus 4 derfelben, befchrieben, läfft fich recht oft die in Fig. 289, 290 u. 291 angegebene Conftruction verwerthen.

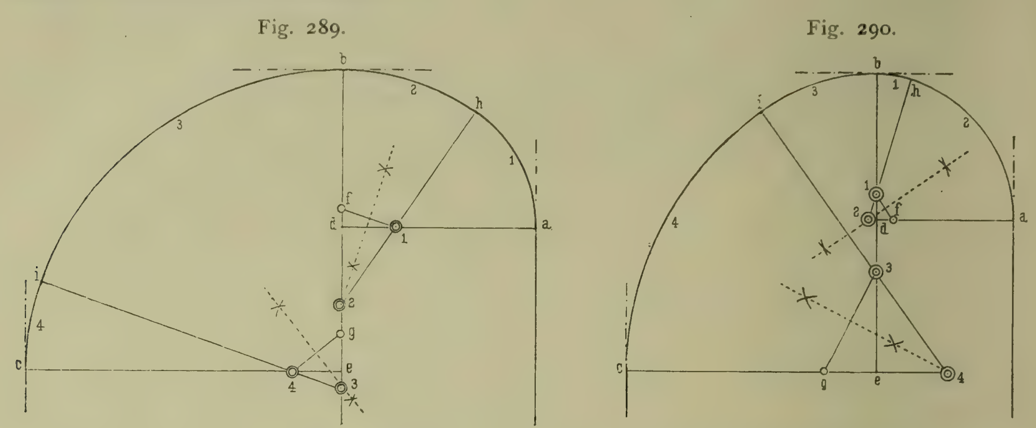


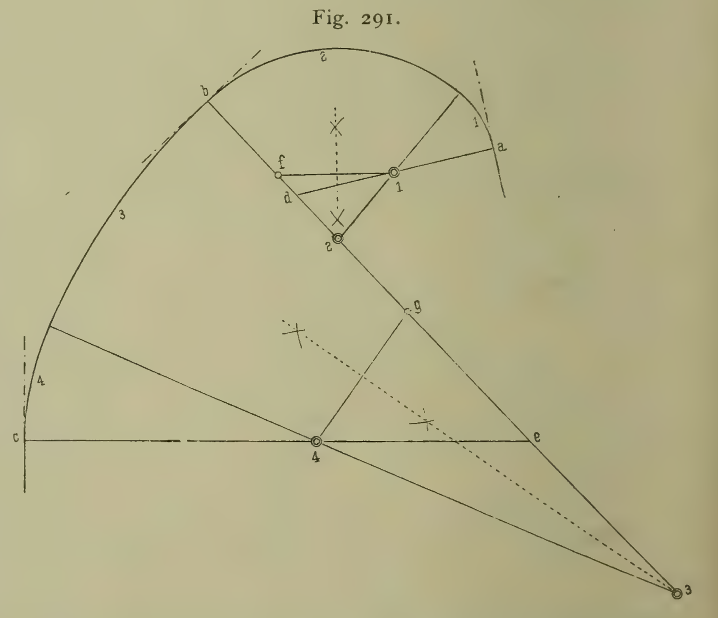
Fig. 289. Fig. 290.

Gegeben find 3 als Tangenten geltende gerade Linien mit den Berührungspunkten *a*, *b* und *c*. Man ziehe in diefen Punkten fenkrechte Strahlen zu den Tangenten, bis diefelben, gehörig erweitert und der Reihe nach zu Paaren genommen, in *d* und *e* fich fchneiden.

Hierdurch entftehen zwei Gruppen von Strecken, nämlich Gruppe *a a* und *b d*, fo wie Gruppe *b e* und *c e*. Bei der erften Gruppe wähle man auf der gröfseren Strecke derfelben einen feften Mittelpunkt *1* für den erften Kreisbogen, deffen Anfangspunkt der diefer Strecke zugehörige Berührungspunkt ift.

Die Wahl diefes Mittelpunktes ift nur in der Weife befchränkt, dafs der Halbmeffer des erften Kreifes ftets kleiner genommen werden foll, als die kürzere Strecke der in Betracht gezogenen Gruppe. Die Länge des fo feft geftellten erften Halbmeffers wird vom Berührungspunkte auf der kürzeren Strecke bis *f* abgetragen, auf der Mitte der Verbindungslinie *1 f* das Loth errichtet, welches die erweiterte kürzere Strecke im Punkte *2* fchneidet, welcher als Mittelpunkt des zweiten Kreisbogens auftritt. Eine durch die Mittelpunkte *1* und *2* gelegte gerade Linie bildet den Scheideftrahl der zu vereinigenden beiden Kreisbogen der erften Gruppe. Für die zweite Gruppe ift nach denfelben Grundfätzen zu verfahren.

Fig. 291.



So find auch bei der fehr willkürlich genommenen Lage von 3 geraden Linien, welche nur im Allgemeinen als Tangenten dem Laufe einer nach oben gekrümmten Curve angepafft find, mit den darauf beliebig feft gelegten Berührungspunkten *a*, *b*, *c* (Fig. 291) die 4 Kreisbogen *1* bis *4* zur Bildung eines einhüftigen Korbbogens in der angegebenen Weife folgendermafsen beftimmt.

Die zu den Tangenten in *a* und *b* geführten Normalen der erften Gruppe fchneiden fich im Punkte *a*. Die Strecke *a d* ift gröfser als *b d*; mithin ift der Mittelpunkt *1* des erften Kreifes *1* im Abftande *a 1* kleiner als *b d* gewählt, auf *a d* angenommen.

Hierauf ift $bf = a1$ abgetragen, in der Mitte der Geraden $f1$ das Loth errichtet, welches erweitert den verlängerten Strahl bd in 2 fchneidet. 2 ift Mittelpunkt des Kreifes 2. Die durch 2 und 1 geführte Gerade fcheidet beide Kreife.

Die in b und c geführten Normalen der zweiten Gruppe treffen fich im Punkte e. Da ce gröfser ift als be, fo ift der Mittelpunkt 4 auf der gröfseren Strecke ce angenommen und dabei $c4$ kleiner als be gewählt. Nunmehr ift $bg = c4$ auf be abgetragen, wiederum in der Mitte der Verbindungslinie $g4$ das Loth errichtet, welches verlängert die entfprechend fortgeführte Normale be im Punkte 3, d. i. im Mittelpunkte des Kreifes 3 trifft. Der Scheideftrahl der Kreife 3 und 4 ift die durch die Punkte 3 und 4 geführte Gerade.

b) Stärke der Tonnengewölbe und ihrer Widerlager.

136. Stärke unbelafteter halb-kreisförmiger Tonnengewölbe.

Beim Anfertigen des Entwurfes eines Tonnengewölbes, welches als Decke für einen gegebenen Raum ausgeführt werden foll, tritt die Frage in den Vordergrund, welche Stärke dem Gewölbe und feinen Widerlagern gegeben werden mufs, damit diefe Baukörper eine fichere und dauernde Standfähigkeit befitzen. Bei der Beftimmung diefer Stärken ift nicht aufser Acht zu laffen, dafs der Materialaufwand für die Gewölb- und Widerlagsmaffen ohne Schädigung der Stabilität der ganzen Wölbanlage ein möglichft kleiner wird. Aus diefem Grunde wird zunächft die geringfte Weite des zu überdeckenden Raumes als Spannweite für das Gewölbe angenommen, während die längeren Begrenzungen deffelben den Widerlagern zugewiefen werden. Sodann ift die gröfste Belaftung feft zu fetzen, welche aufser dem Eigengewicht der Conftruction im ungünftigften Falle auf das Gewölbe kommen foll, und endlich ift die Befchaffenheit des Materials in Hinficht auf fein Gewicht und namentlich auf feine Feftigkeit gegen Zerdrücken forgfältig in Betracht zu ziehen.

Wenngleich eine grofse Zahl von empirifchen Regeln für die Beftimmung der Stärken der Tonnengewölbe und ihrer Widerlager aufgeftellt worden ift, fo haben alle diefe Regeln doch nur innerhalb gewiffer Grenzen eine Berechtigung für ihre Anwendung; aufserhalb diefer Grenzen können fie fogar zu einem Irrthum Veranlaffung geben.

Für das Feftlegen der Form der Gewölblinie, für die Beftimmung des Fugenfchnittes, der Dicke des Gewölbkörpers und der Stärke des Widerlagers find in jedem befonderen Falle die Wirkungen der im Gewölb- und Widerlagskörper thätigen Kräfte, fo weit und fo fcharf als folches möglich, zu ergründen, um hierdurch die Ueberzeugung von der Feftigkeit und Sicherheit des Baukörpers in allen feinen Theilen zu gewinnen.

Diefe Aufgabe der ftatifchen Unterfuchung der Gewölbe fällt der »Gewölbetheorie« anheim. Die Bekanntfchaft mit derfelben mufs hier vorausgefetzt und in diefer Beziehung auf Theil I, Band 1, zweite Hälfte (Abth. II, Abfchn. 4[160]) diefes »Handbuches« verwiefen werden.

Wenngleich in den Abhandlungen über »Gewölbtheorie« wefentlich die im Ingenieurbauwefen vorkommenden Gewölbe in Betracht gezogen werden, fo ift dennoch zu beachten, dafs diefe Theorie auch für die Gewölbe im Hochbau von grofsem Werthe ift und in ihren Ergebniffen immer mehr und mehr Verwendung finden follte. Auf einige wichtige diefer Ergebniffe möge im Folgenden hingewiefen werden[161]).

---

160) 2. Aufl.: Abth. II, Abfchn. 5.

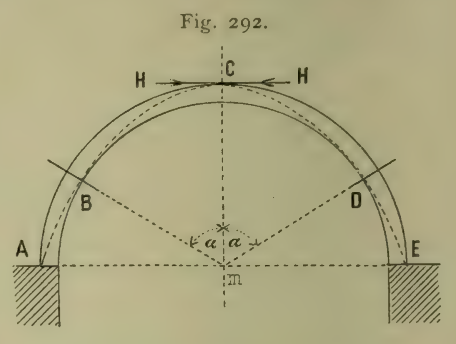
161) Siehe auch: SCHEFFLER, H. Theorie der Gewölbe, Futtermauern und eifernen Brücken. Braunfchweig 1857.
RITTER, A. Lehrbuch der Ingenieurmechanik. Hannover 1876.

Ein unbelaftetes halbkreisförmiges Tonnengewölbe mit concentrifcher Rückenlinie ift, wenn von der Adhäfion des Mörtels in den Wölbfteinfugen abgefehen wird, eben noch im Zuftande des Gleichgewichtes, fobald die Gewölbftärke $d = \frac{1}{17{,}544}$ der Spannweite s beträgt, oder, da s gleich dem Zweifachen des Halbmeffers r der Erzeugenden diefes Gewölbes ift, wenn

$$d = \frac{2r}{17{,}544} \quad \text{oder rund} \quad d = \frac{r}{9}$$

wird.

Fig. 292.

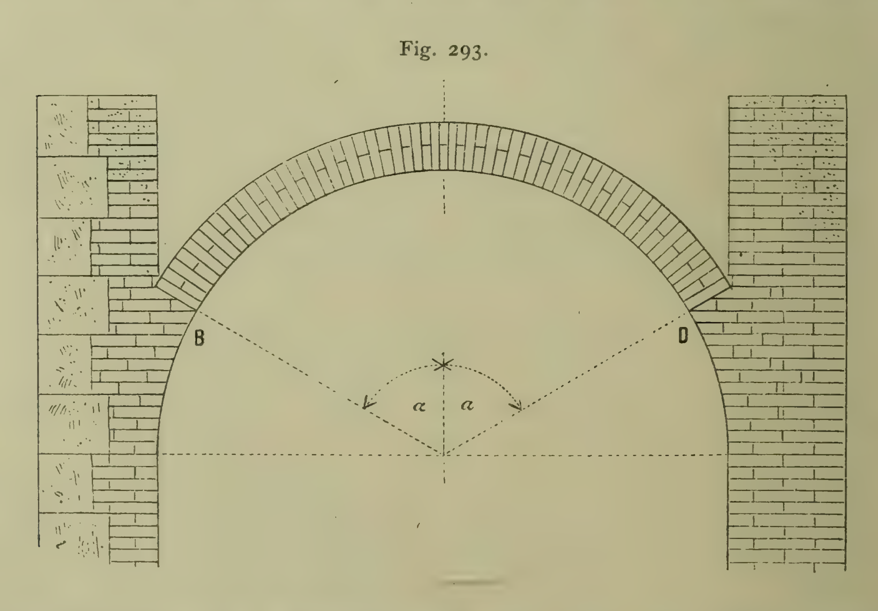


Bei diefer Abmeffung verläuft die dem möglichft kleinften Horizontalfchube H entfprechende Mittellinie des Druckes (Stützlinie) nach Fig. 292 als Curve $ABCDE$, welche in den Punkten B und D die innere Wölblinie berührt und an diefen Stellen die fog. Bruchfuge kennzeichnet. Der Bruchwinkel α beträgt 54 Grad 10 Minuten oder nahezu 60 Grad mit dem Scheitellothe Cm; die Curve felbft nähert fich ftark einer Parabel.

Auch bei einem belafteten halbkreisförmigen Tonnengewölbe, bei welchem die Gewölbzwickel ausgemauert oder bei welchem noch aufserdem eine Uebermauerung, bezw. eine gleichförmig vertheilte Ueberlaft angebracht ift, ergiebt fich die Lage der erwähnten Bruchfuge durch einen Bruchwinkel von nahezu 60 Grad.

Hieraus folgt für die praktifche Ausführung der Halbkreis-Tonnengewölbe fchon die beachtenswerthe Anordnung, dafs zweckmäfsig die unteren Wölbftücke BA und DE gar nicht als Gewölbe in Mitleidenfchaft gezogen, vielmehr mit dem Wider-

Fig. 293.



lagskörper vereinigt und in wagrechten (Fig. 293) oder noch beffer in winkelrecht zur Curve AB, bezw. DE gerichteten Schichten (Fig. 294 u. 295) gemauert werden. Durch diefe Conftruction wird die Spannweite des Gewölbes vermindert; die Gewölbdicke wird fich dadurch geringer geftalten und die Widerlagsftärke fich ebenfalls

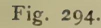


Fig. 294.

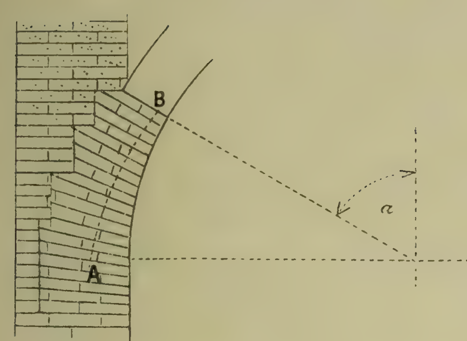
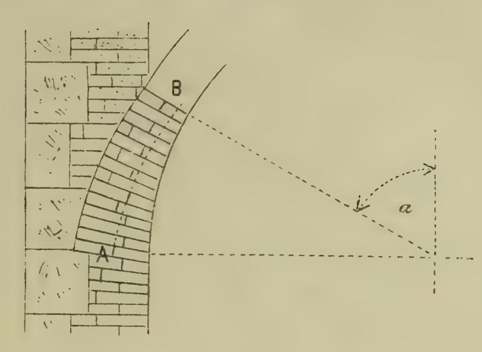


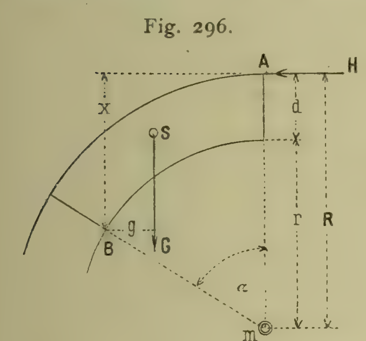
Fig. 295.



verkleinern. Da die Form der Mittellinie des Druckes von der Form der Gewölblinie weſentlich mit abhängt, die erſtere aber ſich bei Halbkreisgewölben von der Parabel nicht weit entfernt, ſo folgt, dafs bei einer Parabel als Gewölblinie von vornherein auch eine günſtige Mittellinie des Druckes in einem Parabel-Tonnengewölbe entſpringen wird (vergl. Art. 127, S. 153).

Von Wichtigkeit für die Beſtimmung der Gewölbſtärke und ſpäter der Dicke des Widerlagers iſt die Ermittelung der Gröfse des Gewölbſchubes H. Für eine beliebige, unter einem Winkel α zur Wagrechten geneigte Fuge B (Fig. 296) eines unbelaſteten Halbkreisgewölbes hat der in der Scheitelfuge wirkende wagrecht gerichtete Gewölbſchub H mindeſtens einen Werth, welcher ſich nach den Bezeichnungen in Fig. 296 berechnen läſſt aus der Gleichung 367 in Theil I, Band 1, zweite Hälfte (S. 451 [162]) dieſes »Handbuches«

Fig. 296.



$$H = \frac{G\,g}{x} \quad \ldots\ldots \quad 135.$$

Iſt nun, wie in üblicher Weiſe angenommen wird, die Tiefe des Gewölbes rechtwinkelig zur Zeichenfläche gleich der Längeneinheit des Zeichenmafsſtabes und ferner das Gewicht der Raumeinheit des Wölbmaterials gleich der Krafteinheit, ſo läſſt ſich das Gewicht G des Ringſtückes $A\,B$ gleich dem Flächeninhalte dieſes Stückes ſetzen, d. h.

$$G = \frac{R^2 - r^2}{2}\,\alpha \text{ Quadr.-Met.} \quad \ldots\ldots \quad 136.$$

Da nun die wagrechte Entfernung g des Schwerpunktes S des Ringſtückes vom Punkte B ſich als

$$g = r \,.\, \sin\alpha - \frac{2}{3} \cdot \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2} \cdot \frac{\left(\sin\frac{\alpha}{2}\right)^2}{\frac{\alpha}{2}} \text{ Met.} \quad \ldots\ldots \quad 137.$$

beſtimmt und da ferner der lothrechte Abſtand x des Angriffspunktes A des Gewölbſchubes H vom Fugenpunkte B als

$$x = (R - r \,.\, \cos\alpha) \text{ Met.} \quad \ldots\ldots \quad 138.$$

162) 2. Aufl.: Art. 274 (S. 258).

erfcheint, fo erhält man, wenn in Gleichung 137

$$\left(\sin \frac{\alpha}{2}\right)^2 = \frac{1 - \cos \alpha}{2}$$

gefetzt wird, unter Einführung der Werthe 136, 137 u. 138 in Gleichung 135,

$$H = \frac{(R^2 - r^2) \frac{r \alpha \, . \sin \alpha}{2} - (R^3 - r^3) \frac{1 - \cos \alpha}{3}}{R - r \, . \cos \alpha} \text{ Quadr.-Met.} \quad . \quad 139.$$

Es fei $\alpha = 60^0$, alfo näherungsweife dem vorhin ermittelten Bruchwinkel entfprechend; alsdann wird Bogen $\alpha = 1{,}0472$, $\sin \alpha = \sin 60^0 = 0{,}866$ und $\cos \alpha = \cos 60^0 = 0{,}5$, mithin

$$H = \frac{0{,}4534 \, (R^2 - r^2) \, r - 0{,}166 \, (R^3 - r^3)}{R - 0{,}5 \, r} \text{ Quadr.-Met.} \quad . \quad . \quad . \quad 140.$$

Wäre nun die Scheitelftärke d des Gewölbes bekannt, fo würde fich die Gröfse von H zahlenmäfsig feft ftellen laffen, da bei gegebenem r der Werth $R = r + d$ wird. Anderfeits würde dann auch bei der Gewölbtiefe gleich der Längeneinheit, z. B. $= 1^{\text{m}}$, die Fläche der gedachten Scheitelfuge gleich d Quadr.-Met. fein, und endlich würde, wenn die Gröfse H noch mit 1 multiplicirt wird, diefelbe auch fofort als H Cub.-Met. ausgedrückt werden können. Denkt man fich diefe H Cub.-Met. als eine Steinfäule des Wölbmaterials auf der Fläche d Quadr.-Met. angebracht und ermittelt man bei dem als bekannt geltenden Eigengewicht γ Kilogr. einer Raumeinheit des Wölbmaterials das Gewicht der erwähnten Steinfäule, fo ift

$$\frac{H}{d} \gamma \text{ Kilogr.}$$

als mittlerer Druck für die Flächeneinheit der gedachten Scheitelfuge anzufehen.

Der Werth $\frac{H}{d}$ ift, wie zahlreiche Berechnungen an vielen ausgeführten Gewölben, namentlich bei Brückengewölben, ergeben haben, durchaus nicht conftant; im Gegentheil ift derfelbe, wie *Scheffler* nachgewiefen hat, fehr veränderlich. Er nimmt mit dem Wachfen des Gewölbfchubes zu, aber derart, dafs $\frac{H}{d}$ bei feftem Wölbmaterial bei kleinen Gewölben dem Gewichte einer Steinfäule von etwa 3^{m} Höhe, bei den gröfsten Gewölben dem Gewichte einer Steinfäule von etwa 60^{m} Höhe entfpricht.

Ift z. B. für ein fehr grofses Gewölbe $H = 90$ gefunden, fo müffte, um die Höhe 60^{m} der entfprechenden Steinfäule nicht zu überfchreiten,

$$\frac{H}{d} = 60 \quad \text{oder} \quad d = 1{,}5^{\text{m}}$$

werden. Alsdann ift, wenn 1^{cbm} diefer Steinfäule 2200^{kg} wiegt, die mittlere Preffung $\frac{90 \cdot 2200}{1{,}5 \cdot 1} = 132000^{\text{kg}}$ für 1^{qm} oder $13{,}2^{\text{kg}}$ für 1^{qcm}, während bei einem kleineren Gewölbe, für welches $H = 2$ und $d = 0{,}3$ fich ergeben hat, die mittlere Preffung $= \frac{2 \cdot 2200}{0{,}3 \cdot 1} = 11333^{\text{kg}}$ für 1^{qm} oder nur $1{,}1333^{\text{kg}}$ für 1^{qcm} wird.

Im letzteren Falle wäre die Höhe x der Steinfäule zu finden aus $0{,}3 \cdot 1 \cdot x = 2 \cdot 1$, d. h. $x = 6{,}66^{\text{m}}$.

Bei dem zur Widerlagsfuge von der Stärke d_1 fenkrecht gerichteten Gewölbdrucke N treten in Rückficht auf den Werth $\frac{N}{d_1}$ ähnliche Zuftände auf. Aber *Scheffler* hat ermittelt, dafs der mittlere Druck $\frac{N}{d_1}$ für die Flächeneinheit der

Widerlagsfuge meiſtens weit gröſser iſt als der Werth $\frac{H}{d}$, und zwar oft um das Drei- und Vierfache deſſelben, d. h. daſs dieſer Druck bei kleinen Gewölben dem Gewichte eines Steinprismas von etwa 9 bis 12 m Höhe, bei den gröſsten Gewölben jedoch dem Gewichte eines ſolchen von 180 m bis ſogar 240 m Höhe entſpricht.

Der wichtige Umſtand nun, daſs auf Grund der an ausgeführten Gewölben vorgenommenen Berechnungen und Beobachtungen die Annahme eines gleichen Feſtigkeits-Coefficienten für Druck auf die Flächeneinheit nicht ſtatthaft erſcheint, ſo wie der fernere Umſtand, daſs auch eine gleichförmige Vertheilung des Druckes in den Fugenflächen nicht ſtattfindet, wie die klaffenden Fugen bei einem etwas mangelhaft conſtruirten und gleich nach der Ausführung ausgerüſteten Gewölbe zeigen, ohne daſs ein Einſturz dieſes Gewölbes erfolgt, verſchaffen der Annahme Raum, daſs ſelbſt bei den gröſsten Gewölben in der gedachten Scheitelfuge keine gröſsere mittlere Preſſung entſtehen ſoll, als ſolche dem Gewichte einer Steinſäule von 60 m Höhe entſpricht und daſs ferner die Widerlagsfuge bei ſolchen groſsen Gewölben bei Weitem nicht durch einen Normaldruck beanſprucht werden ſoll, welchen eine Steinſäule von $3 \cdot 60 = 180$ m liefern würde, daſs vielmehr nur ein mittlerer Normaldruck zuläſſig ſein ſoll, welcher durch das Gewicht eines Steinprismas von höchſtens 86 m Höhe hervorgerufen wird.

Im weiteren Verfolge dieſer Annahmen ſind von *Scheffler* Tabellen zur Beſtimmung der Gewölbſtärken berechnet, und wenngleich dieſelben, wie ſchon oben bemerkt, vorzugsweiſe für Brückengewölbe ermittelt ſind, ſo laſſen ſich doch bei den übereinſtimmenden Eigenſchaften, welche Gewölbe, gleichgiltig, welchen Zwecken ſie dienen ſollen, immer aufweiſen, die ſorgfältig erzielten Ergebniſſe auch füglich für die Gewölbe des Hochbauweſens verwerthen.

Ohne hier eine Umrechnung der von *Scheffler* gegebenen Tafel zur Beſtimmung der Gewölbſtärke vorzunehmen, iſt in Rückſicht auf die Gewölbe des Hochbauweſens das folgende Verfahren eingeſchlagen.

Trägt man die abſoluten Werthe von H als Abſciſſen und die jedem einzelnen H entſprechenden Gewölbſtärken d als Ordinaten auf und verbindet man die Endpunkte dieſer Ordinaten, ſo erhält man eine krumme Linie. Sucht man die Gleichung einer Curve, welche ſich mit gröſster Wahrſcheinlichkeit jener krummen Linie nähert, ſo findet man, daſs die geſuchte Curve der Scheitelgleichung einer Ellipſe entſpricht, deren halbe groſse Axe der Zahl 90, deren halbe kleine Achſe der Zahl 1,5 entſpricht, d. h. jenen oben erwähnten Grenzwerthen $\frac{H}{d} = \frac{90}{1{,}5} = 60$ m.

Da die Scheitelgleichung einer Ellipſe mit den Halbaxen a und b bekanntlich

$$y = \frac{b}{a} \sqrt{(2a - x)\, x}$$

iſt, ſo wird, wenn $y = d$, $a = 90$, $b = 1{,}5$ und $x = H$ geſetzt wird,

$$d = \frac{1{,}5}{90} \sqrt{(180 - H)\, H} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 141.$$

oder

$$d = \frac{1}{60} \sqrt{(180 - H)\, H} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 142.$$

Nach dem vorhin bezeichneten Grenzwerthe der Höhe des Steinprismas zu

60 m ift in Gleichung 142 für H höchftens 90 in Rechnung zu bringen. Für $H > 90$ müffte

$$d = \frac{H}{60} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 143.$$

werden, alfo im geraden Verhältniffe mit H wachfen. Für Gewölbe im Hochbauwefen ift auf diefen Fall füglich nicht zu rechnen.

Die im Vorhergehenden bezeichnete Zahl 60 m gilt für fehr feftes Steinmaterial. Im Hochbauwefen kommt jedoch in den meiften Fällen für den Gewölbebau Backfteinmaterial zur Verwendung, welches im Allgemeinen nicht die Feftigkeit gegen Druck befitzt, wie das oben angenommene Steinmaterial. Aus diefem Grunde ift es rathfam, für Backfteingewölbe den Werth

$$\frac{H}{d} = 50$$

zu fetzen, d. h. die Höhe des Backfteinprismas nur zu höchftens 50 m anzunehmen.

Da H die Gröfse 90 beibehält, fo ergiebt fich nunmehr

$$d = \frac{90}{50} = 1{,}8 \text{ m}.$$

Beträgt das Gewicht von 1 cbm Backfteinmaterial 1600 kg, fo wird die mittlere Preffung $\frac{90 \cdot 1600}{1{,}8 \cdot 1} = 80000$ kg für 1 qm oder 8 kg für 1 qcm.

Unter Anwendung der Werthe für $d = 1{,}8$ und dem zugehörigen $H = 90$ erhält man entfprechend der Gleichung 141 nun für Backfteinmaterial

$$d = \frac{1{,}8}{90} \sqrt{(180 - H)\, H} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 144.$$

oder

$$d = \frac{1}{50} \sqrt{(180 - H)\, H} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 145.$$

Würde im befonderen Falle H gröfser als 90, fo müfste

$$d = \frac{H}{50} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 146.$$

genommen werden.

Ein gleicher Zufammenhang, wie zwifchen H und d, befteht auch zwifchen dem Normaldruck N und der hierfür auftretenden Gewölbftärke d_1, wenn nur zuvor in Rückficht gezogen wird, dafs, wie vorhin erwähnt, $\frac{N}{d_1}$ höchftens $= 3 \cdot 60$ m $= 180$ m werden foll.

Man erhält ähnlich wie in Gleichung 141, fobald in der Ellipfen-Gleichung $3a$ ftatt a gefetzt wird,

$$d_1 = \frac{1{,}5}{3 \cdot 90} \sqrt{(2 \cdot 3 \cdot 90 - N)\, N}\,, \quad \ldots \ldots \ldots \quad 147.$$

d. h.

$$d_1 = \frac{1}{180} \sqrt{(540 - N)\, N} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 148.$$

als allgemeinen Ausdruck für die von N abhängige Gewölbftärke. Da aber bei gröfseren Gewölben höchftens

$$\frac{N}{d_1} = 86 \text{ m}$$

werden foll und diefer Werth nach Ausweis derartiger ausgeführter Gewölbe für N nahezu gleich 114 eintritt, fo ergiebt fich

$$d_1 = \frac{114}{86} = 1{,}34 \text{ m}$$

und gleichzeitig für N ein Grenzwerth bei der Anwendung von Gleichung 148.

Für $N \gtreqless 114$ ift $d_1 = \frac{1{,}34}{114} N$, d. h.

$$d_1 = \frac{1}{8{,}6} N \quad \ldots \ldots \ldots \quad 149.$$

zu nehmen, während für kleinere Werthe von N die Stärke d_1 nach Gleichung 148 ermittelt werden kann.

Bei Backfteingewölben ift es aus denfelben Gründen, wie folche vorhin bei diefen Baukörpern angegeben find, zweckmäfsig, den Factor $\frac{1}{180}$ in Gleichung 148 herabzumindern, wie folches in Gleichung 145 für d gefchehen ift, und denfelben auf $\frac{1}{3 \cdot 50} = \frac{1}{150}$ zu bringen. Danach wird

$$d_1 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - N) N} \, , \quad \ldots \ldots \ldots \quad 150.$$

worin N höchftens bis 114 eintreten foll.

Für $N \gtreqless$ als 114 wird fachgemäfs $\frac{N}{d_1}$ nicht mehr gleich 86, fondern geringer genommen, fo dafs $\frac{N}{d_1} = 72^{\text{m}}$ gefetzt wird.

Hiernach wird bei dem Grenzwerthe $N = 114$

$$d_1 = \frac{114}{72} = 1{,}58 \text{ m}$$

und nunmehr für $N \gtreqless 114$ die Stärke $d_1 = \frac{1{,}58}{114} N$, d. h. genau genug

$$d_1 = \frac{1}{72} N \quad \ldots \ldots \ldots \quad 151.$$

Fig. 297.

Wenn im Hochbauwefen bei Tonnengewölben die Gleichung 151 wohl nicht in Anwendung kommt, fo ift doch bei gröfseren Kuppelgewölben ihre Benutzung nach Ermittelung des Normaldruckes, welchen die Kuppel auf ihrer Bafis hervorruft, unter Umftänden für die Beftimmung der Gewölbftärke der Kuppel an ihrem Fufse erforderlich.

Für die Anwendung der für d, bezw. d_1 gegebenen Gleichungen ift noch das Folgende zu beachten.

Liefert der Normaldruck N kleinere oder gleiche Werthe als der Gewölbfchub H, fo ift der für H gefundene Werth d durchweg für das ganze Gewölbe beizubehalten. Entfteht

dagegen für N eine gröfsere Stärke d_1, als die für den Gewölbfchub H gefundene Dicke d ift, fo tritt vom Gewölbfcheitel bis zur Widerlagsfuge eine ftetig von d bis d_1 wachfende Verftärkung des Gewölbes ein.

Die Gröfse des Normaldruckes N ergiebt fich nach Fig. 297 als

$$N = R \cdot \cos \beta = R \cdot \cos (\varphi - \alpha),$$

d. h.

$$N = R (\cos \varphi \cdot \cos \alpha + \sin \varphi \cdot \sin \alpha).$$

Da $\cos \varphi = \frac{H}{R}$ und $\sin \varphi = \frac{G}{R}$, fo wird

$$N = H \cos \alpha + G \sin \alpha \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 152.$$

Für $\sphericalangle \alpha = 60$ Grad ift

$$N = 0{,}5\ H + 0{,}866\ G \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 153.$$

Beifpiele: 1) Ein unbelaftetes, aus Backfteinen auszuführendes Halbkreisgewölbe von 2^m Halbmeffer fei bis zur Bruchfuge (Bruchwinkel α gleich 60 Grad angenommen) in wagrechten Schichten aufgeführt. Für das verbleibende Gewölbftück ift die Stärke zu berechnen.

Die unbekannte Gewölbdicke im Scheitel möge zunächft gleich $\frac{1}{2}$ Backfteinlänge, alfo gleich $0{,}12^m$ gefetzt werden. Da $r = 2^m$ und $d = 0{,}12^m$ ift, fo ift $R = 2{,}12^m$, und es wird nach Gleichung 140

$$H = \frac{0{,}4534\ (2{,}12^2 - 2^2)\ 2 - 0{,}166\ (2{,}12^3 - 2^3)}{2{,}12 - 0{,}5 \cdot 2} = 0{,}173.$$

Hiernach erhält man unter Benutzung von Gleichung 145

$$d = \frac{1}{50} \sqrt{(180 - 0{,}173)\ 0{,}173} = 0{,}1115^m.$$

Die urfprünglich für d gewählte Abmeffung $0{,}12^m$ weicht von der berechneten Gröfse nur ganz wenig ab. Da aufserdem aus praktifchen Gründen die Stärke von einer halben Backfteinlänge nicht ohne Verhauen der Steine herzuftellen ift, fo kann die geführte Rechnung für d abgefchloffen und danach die Gewölbftärke zu $0{,}12^m$ beibehalten werden.

Die Gröfse des Normaldruckes N wird nach Gleichung 153

$$N = 0{,}5 \cdot 0{,}173 + 0{,}866\ G$$

oder, da fich nach Gleichung 136, worin für $\sphericalangle \alpha = 60$ Grad und $\alpha = 1{,}0472$ zu fetzen ift,

$$G = \frac{2{,}12^2 - 2^2}{2}\ 1{,}0472 = 0{,}259$$

ergiebt,

$$N = 0{,}31$$

gefunden. Unter Einführung diefes Werthes in Gleichung 150 wird

$$d_1 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - 0{,}31)\ 0{,}31} = 0{,}083^m.$$

Da d_1 kleiner ift als d, fo ift die Stärke d für das Gewölbe durchweg in Anwendung zu bringen.

Nach einer empirifchen Regel, welche *Rondelet* für kleinere Halbkreisgewölbe aus Backfteinen aufgeftellt hat, foll, wenn die Gewölbe bis zur halben Höhe hintermauert find und die Rückenlinie der Wölblinie concentrifch ift, die Gewölbftärke gleich $\frac{1}{36}$ der Spannweite fein. Im vorliegenden Falle würde hiernach

$$d = \frac{2r}{36} = \frac{2 \cdot 2}{36} = \frac{1}{9} = 0{,}111^m$$

werden, mithin fich in recht guter Uebereinftimmung mit der oben gefundenen Gewölbftärke befinden.

2) Das in gleicher Weife auszuführende Halbkreisgewölbe befitze einen Halbmeffer r von 4^m; die Gewölbftärke foll ermittelt werden.

Die noch unbekannte Gewölbftärke fei vorläufig und willkürlich zu $0{,}12^m$ gewählt. Alsdann ift $R = r + 0{,}12 = 4{,}12$ und ferner nach Gleichung 140

$$H = \frac{0{,}4534\ (4{,}12^2 - 4^2)\ 4 - 0{,}166\ (4{,}12^3 - 4^3)}{4{,}12 - 0{,}5 \cdot 4} = 0{,}37.$$

Bringt man diefen Werth in Gleichung 145, fo ift

$$d = \frac{1}{50} \sqrt{(180 - 0{,}37)\, 0{,}37} = 0{,}16 \text{ m},$$

womit ein erfter Näherungswerth für d berechnet ift. Unter Benutzung deffelben wird weiter nach Gleichung 140

$$H = \frac{0{,}4534\,(4{,}16^2 - 4^2)\,4 - 0{,}166\,(4{,}16^3 - 4^3)}{4{,}16 - 0{,}5 \cdot 4} = 0{,}48.$$

Für diefen Gewölbfchub liefert Gleichung 145 die Gewölbftärke $d = 0{,}18$ m.

Da die Unterfuchung zeigt, dafs die Gewölbftärke d einen gröfseren Werth als $d = 0{,}12$ m beanfprucht, fo möge jetzt $d = 0{,}20$ m genommen werden. Hierdurch erhält man nach Gleichung 140 den Gewölbfchub $H = 0{,}59$ und dann nach Gleichung 145 die Gewölbftärke $d = 0{,}206$ m, welche nur noch wenig von $d = 0{,}20$ m abweicht, fo dafs hiermit die Rechnung ihren Abfchlufs findet.

Hätte man d ftatt $0{,}20$ m zu $0{,}25$ m eingeführt, fo hätte man durch das Ausrechnen für d nur nahezu $0{,}23$ m und damit die Anzeige erhalten, dafs die Gewölbftärke kleiner als $0{,}25$ m zu nehmen wäre.

Für den Normaldruck N ergiebt fich nach Gleichung 153, da $H = 0{,}59$ ift,

$$N = 0{,}5 \cdot 0{,}59 + 0{,}866\, G,$$

worin nunmehr

$$G = \frac{4{,}2^2 - 4^2}{2}\, 1{,}0472 = 0{,}859$$

wird, fo dafs man

$$N = 1{,}04$$

erhält. Mit Benutzung von Gleichung 150 ergiebt fich weiter

$$d_1 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - 1{,}04)\, 1{,}04} = 0{,}15 \text{ m}.$$

Da nun auch in diefem Beifpiele d_1 kleiner als d wird, fo ift wiederum das Gewölbe in gleicher Stärke auszuführen. Da man aber ftatt $d = 0{,}20$ m in der Praxis d entfprechend der Backfteinlänge zu $0{,}25$ nimmt, fo ergiebt fich hierdurch von felbft noch eine etwas erhöhte Gewölbftärke.

Nach der von *Rondelet* herrührenden empirifchen Regel würde fich $d = \frac{2 \cdot 4}{36} = 0{,}22$ m ergeben haben.

237. Gewölbeanfänger.

Ein ohne Hintermauerung und nicht mit wagrecht vorgemauerten Anfängern verfehenes, frei im Widerlager aufftehendes, unbelaftetes Halbkreisgewölbe mit einem Halbmeffer $r = 4$ m, müffte, fo lange noch nicht auf eine kräftige Verkittung der Wölbfteine durch den Fugenmörtel gerechnet werden darf, nach den früher gemachten Angaben mindeftens $\frac{2\,r}{17{,}544} = \frac{2 \cdot 4}{17{,}544} = 0{,}456$ m ftark werden, um bei diefer Stärke fich im Grenzzuftande des Gleichgewichtes gegen Drehung und Gleiten zu befinden. Statt der Dicke d von $0{,}456$ m würde man felbftverftändlich die Stärke von zwei Backfteinlängen, d. h. einfchliefslich der Fuge $0{,}51$ m zur Ausführung bringen.

Fig. 298.



Aus dem Vergleiche diefer Gewölbftärke mit der im zweiten Beifpiele geführten Rechnung ift wiederum deutlich der Vortheil zu erkennen, welcher fich für den Gewölbkörper mit den bis zur Bruchfuge in wagrechten Schichten ausgeführten Gewölbanfängern herausftellt.

Eine folche in wagrechten Schichten aufgemauerte Conftruction des Gewölbanfängers ift auch bei Tonnengewölben aus Quadern nach Fig. 298 in jeder Beziehung anzurathen. Hierbei treten zur Vermeidung von fpitzen Winkeln kurze, fenkrecht zur Wölblinie ftehende Fugen a auf, welche an ihren vorderen Kanten eine geringe Abfchrägung, den fog. Druckfchlag erhalten. Diefer Druckfchlag verhindert in vielen Fällen das Abfprengen der Steinkanten

durch diejenigen Preffungen, welche unter Umftänden beftrebt find, fich im Gewölbkörper der Wölblinie zu nähern.

Treten zwei Tonnengewölbe gegen eine gemeinfchaftliche Widerlagsmauer, fo ift der Gewölbanfänger, gleichgiltig, welches Material zum Gewölbe benutzt wird, nach Fig. 299 für beide Baukörper gemeinfam in wagrechten Schichten bis zu den Bruchfugen auszuführen. Eine Anordnung nach Fig. 300 ift in hohem Grade zu tadeln, da der im Gewölbzwickel auftretende Mauerkörper als ein durch die obere Belaftung ftark eingefügter Keil auftritt, welcher nachtheilig auf das Baufyftem einzuwirken vermag.

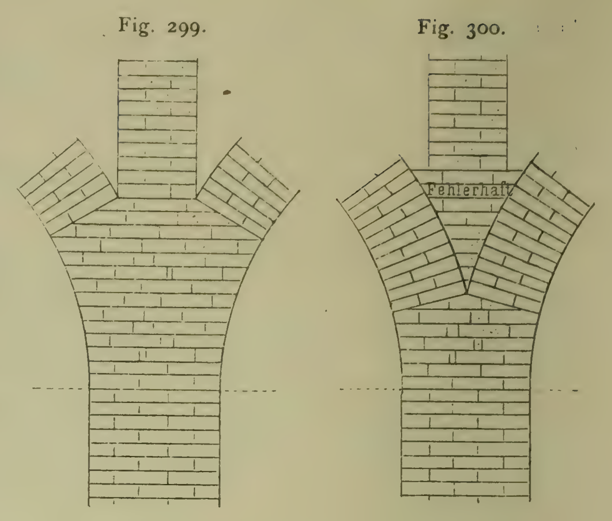


Fig. 299. Fig. 300.

Bei Backfteinmaterial ift das Verhauen der Steine im Anfänger an der Laibungsfläche (Fig. 301) unnöthig, da, falls ein Verputzen des Gewölbes im Inneren vorgenommen werden foll, diefelbe, wie bei *a*, fich in die fog. Ueberkragungen der Steine legt. Für derartige Gewölbe, deren Laibungsflächen keinen Putz erhalten follen, ift die Anwendung von Formfteinen nach Fig. 302 empfehlenswerth.

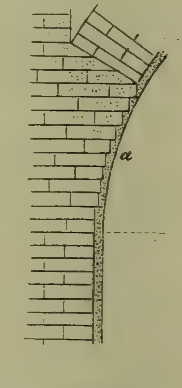
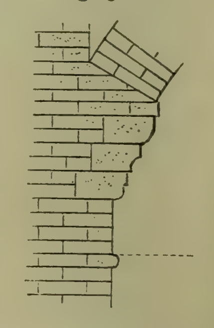


Fig. 301.

138.
Stärke belafteter halbkreisförmiger Tonnengewölbe.

Tonnengewölbe, wie Gewölbe überhaupt, welche nur als fog. unbelaftete Gewölbe ihr Eigengewicht zu tragen haben, kommen allerdings bei Deckenbildungen im Hochbauwefen vor. Recht oft jedoch erfahren derartige Gewölbe noch weitere Belaftungen durch Hintermauerung, d. i. Ausfüllung der Gewölbzwickel, durch vollftändige Uebermauerung, durch darüber liegende Fufsboden-Conftructionen, durch Auffchüttungen und durch ab und zu auftretende veränderliche Belaftungen, welche häufig ein bedeutendes Gewicht ergeben.

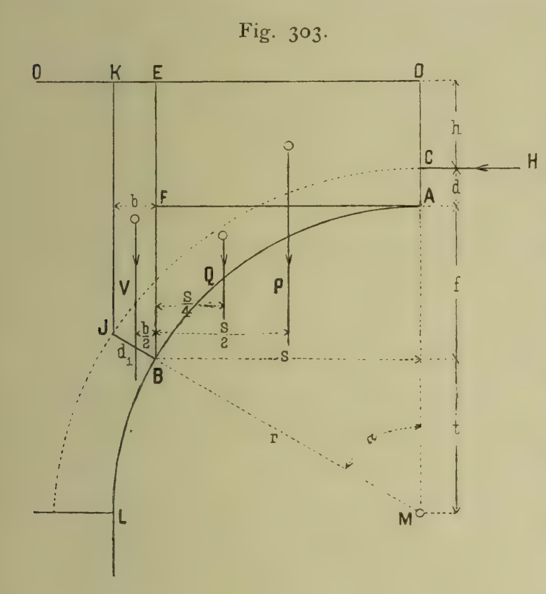
Denkt man fich die gefammte in Frage kommende fernere Belaftung des Gewölbes erfetzt durch einen Steinkörper von gleichem Material, woraus das Gewölbe befteht, fo erfcheint der Querfchnitt des Gewölbes mit feiner Belaftung unten und oben begrenzt durch die innere Wölblinie und die obere Belaftungslinie, welche zwifchen fich die Belaftungsfläche enthalten. Da nach diefer Zurückführung der auf das Gewölbe kommenden Belaftung auf eine Maffe, welche daffelbe Eigengewicht befitzt, wie das Gewölbmaterial, Gleichartigkeit vorhanden ift, fo kann man nach Feftlegen der Belaftungsfläche, bei der Annahme der Gewölbetiefe gleich der Längeneinheit, ohne fernere Umrechnungen des Gewichtes der Belaftung fofort der Stabilitätsunterfuchung des Gewölbes näher treten und fich hierbei der Rechnung oder vielfach kürzer der einfchlägigen Verfahren der graphifchen Statik bedienen.


Fig. 302.

Für den hier vorliegenden Zweck, Anhaltspunkte für die Ermittelung der Gewölbſtärke zu gewinnen, ſoll zunächſt der Weg der Rechnung betreten werden.

Es ſei nach Fig. 303 *AL* die innere halbkreisförmige Wölblinie eines Tonnengewölbes mit dem Halbmeſſer *r*, *DO* die vorhin gekennzeichnete, hier wagrecht gelegte Belaſtungslinie und *BJ* eine beliebige, unter einem Winkel α von der Scheitel-Lothrechten *MA* abweichende Gewölbfuge; alsdann kann man bei der Gewölbtiefe gleich der Längeneinheit die Gröſse der Belaſtungsfläche *ADKJB*, welche bis zur Fuge *BJ* in Betracht kommt, ſofort auch an die Stelle des Gewichtes ſetzen, welches vom Gewölbe ſammt ſeiner Belaſtung herrührt und auf der Fugenfläche von *BJ* ruht. Die Länge dieſer Fuge möge gleich d_1 ſein.

Fig. 303.



Zerlegt man die ganze Belaſtungsfläche in die Einzelflächen *ADEF*, *AFB* und *BEKJ*, betrachtet man ferner, was für die weitere Unterſuchung mit hinreichender Genauigkeit zuläſſig erſcheint, den Kreisbogen *AB* als einen Parabelbogen, deſſen Scheitel *A* iſt, ſo erhält man nach den Bezeichnungen in Fig. 303

$$P = (d + h)\, s\,, \qquad 154.$$

$$Q = \frac{1}{3} f s \qquad 155.$$

und genau genug

$$V = (d + h + f)\, b,$$

oder, da $b = \dfrac{d_1 s}{r}$ iſt,

$$V = (d + h + f)\, d_1 \frac{s}{r}; \qquad 156.$$

mithin, wenn *G* das Geſammtgewicht der in Rechnung gezogenen Belaſtungsfläche ausdrückt,

$$G = s\left[d + h + \frac{f}{3} + (d + h + f)\frac{d_1}{r}\right]. \qquad 157.$$

In Bezug auf den Fugenpunkt *B* erhält man unter Berückſichtigung der Schwerpunktsabſtände der betrachteten Einzelflächen das ſtatiſche Moment

$$\mathfrak{M} = P\frac{s}{2} + Q\frac{s}{4} - V\frac{d_1 s}{2r},$$

oder, unter Benutzung der Gleichungen 154 bis 156, auch

$$\mathfrak{M} = \frac{s^2}{12 r^2}\left\{r^2\left[6(d + h) + f\right] - 6(d + h + f)\, d_1^{\,2}\right\} \qquad 158.$$

Nimmt man vorläufig wiederum an, der Angriffspunkt des Gewölbſchubes *H* befinde ſich im höchſten Punkte *C* der gedachten Scheitelfuge *AC*, ſieht man alſo dabei vorderhand davon ab, daſs, wie ſpäter noch beſprochen werden wird, dieſer

Angriffspunkt von H fowohl, als auch der Punkt B von der Gewölbkante aus mehr in das Innere der Gewölbfläche rücken mufs, fo hat man das ftatifche Moment des Gewölbfchubes H als $H(d+f)$ für den Gleichgewichtszuftand gegen Drehung dem Werthe $\mathfrak{M}$ in Gleichung 158 gleich zu fetzen und erhält danach

$$H = \frac{s^2}{12\,(d+f)\,r^2}\left\{r^2\,[6\,(d+h)+f] - 6\,(d+h+f)\,d_1^{\,2}\right\} \quad . \quad . \quad 159.$$

Nun ift $s = r \,.\, \sin\alpha$ und $f = r - t = r\,(1-\cos\alpha) = 2r\left(\sin\frac{\alpha}{2}\right)^2$.

Führt man diefe Werthe in Gleichung 159 ein, fo ergiebt fich

$$H = \frac{\sin\alpha^2}{6\left[d + 2r\left(\sin\frac{\alpha}{2}\right)^2\right]}\left\{r^2\left[3\,(d+h) + r\left(\sin\frac{\alpha}{2}\right)^2\right] - 3\left[d+h+2r\left(\sin\frac{\alpha}{2}\right)^2 d_1^{\,2}\right]\right\}, \quad . \quad 160.$$

und aufserdem erhält man unter Benutzung der für s und f gegebenen Ausdrücke nach Gleichung 157

$$G = r\,\sin\alpha\left\{d + h + \frac{2}{3}\,r\left(\sin\frac{\alpha}{2}\right)^2 + \left[d + h + 2r\left(\sin\frac{\alpha}{2}\right)^2\right]\frac{d_1}{r}\right\}. \quad 161.$$

Mit Hilfe der Gleichung 160 kann für ein belaftetes Halbkreisgewölbe mit wagrechter Belaftungslinie, welche im Scheitel für eine Belaftungshöhe h ermittelt und feft gelegt ift, der Gewölbfchub H beftimmt werden, indem man zunächft d willkürlich oder fchätzungsweife annimmt, ferner d_1 vorläufig gleich d fetzt, endlich den Winkel α entfprechend den früheren Erörterungen gleich einem Bruchwinkel von 60 Grad einführt und dann mittels der Gleichung 142, bezw. 145 die Gewölbftärke berechnet. Den Normaldruck N findet man, fobald G und H beftimmt find, nach Gleichung 152, bezw. 153 und hiernach die Stärke d_1 unter Benutzung der Gleichung 148, bezw. 150.

Beifpiel. Für ein halbkreisförmiges Tonnengewölbe aus Backftein fei $r = 3^{\text{m}}$ und $h = 0{,}3^{\text{m}}$; diefe Höhe entfpricht, wenn diefelbe über der vollen Ausmauerung der Zwickel des Gewölbes beftändig bleibt, einer gleichförmig vertheilten Ueberlaft von 480^{kg} für 1^{qm} Grundrifsfläche. Der Bruchwinkel $\alpha = 60$ Grad; die Gewölbftärke ift zu berechnen.

Setzt man vorweg und ganz willkürlich $d = 0{,}12^{\text{m}}$ und ebenfalls $d_1 = 0{,}12^{\text{m}}$, fo erhält man nach Gleichung 160, da $\sin\alpha = \sin 60^0 = \frac{\sqrt{3}}{2} = 0{,}866$ und $\sin\frac{\alpha}{2} = \sin 30^0 = \frac{1}{2}$ ift,

$$H = \frac{\frac{3}{4}}{6\left(0{,}12 + 6\,\frac{1}{4}\right)}\left\{9\left[3\,(0{,}12 + 0{,}3) + 3\,\frac{1}{4}\right] - 3\left[0{,}12 + 0{,}3 + 6\,\frac{1}{4}\,0{,}12^2\right]\right\} = \backsim 1{,}29\,;$$

mithin nach Gleichung 145

$$d = \frac{1}{50}\sqrt{(180 - 1{,}29)\,1{,}29} = 0{,}303^{\text{m}};$$

fonach war die Gewölbftärke d urfprünglich viel zu gering genommen.

Setzt man jetzt, da das Gewölbe ftärker als eine Backfteinlänge werden mufs, aus praktifchen Gründen fofort die Dicke des Gewölbes zu $1^1/_2$ Backfteinlängen, d. i. zu $0{,}38^{\text{m}}$ und behält man $d = d_1$ bei, fo wird nun

$$H = \frac{\frac{3}{4}}{6\left(0{,}38 + 6\,\frac{1}{4}\right)}\left\{9\left[3\,(0{,}38 + 0{,}3) + 3\,\frac{1}{4}\right] - 3\left[0{,}38 + 0{,}3 + 6\,\frac{1}{4}\,0{,}38^2\right]\right\} = 1{,}49\,,$$

wofür fich nach Gleichung 145

$$d = \frac{1}{50}\sqrt{(180 - 1{,}49)\,1{,}49} = 0{,}326^{\text{m}}$$

ergiebt.

Diefes Ergebnifs zeigt, dafs die zu $0{,}38^{m}$ angenommene Scheitelftärke des Gewölbes etwas zu grofs fein würde. Da jedoch ohne unnützes Verhauen der Backfteine die Herabminderung der Stärke nicht fachgemäfs eintreten kann, fo wird die Dicke von $0{,}38^{m}$ für die Ausführung des Gewölbes genommen.

Nachdem H genau genug zu 1,49 beftimmt und d zu $0{,}38^{m}$ bekannt geworden ift, läfft fich der Normaldruck N für die Bruchfuge mit dem Winkel $\alpha = 60$ Grad nach Gleichung 153 als

$$N = 0{,}5 \cdot 1{,}49 + 0{,}866 \, G$$

finden.

Nach Gleichung 161 wird unter Einführung der bekannten Gröfsen und bei der Annahme $d = d_1$ nunmehr

$$G = 3 \cdot 0{,}866 \left[0{,}38 + 0{,}3 + \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot \frac{1}{4} + \left(0{,}38 + 0{,}3 + 6 \cdot \frac{1}{4}\right) \frac{0{,}38}{3}\right] = 3{,}778$$

und fomit

$$N = 0{,}745 + 3{,}272 = \infty 4\,;$$

folglich wird nach Gleichung 150

$$d_1 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - 4)\,4} = 0{,}326^{m}.$$

Da diefe Gröfse den Werth von $0{,}38^{m}$ für d nicht erreicht, fo ift eine Vermehrung der Gewölbftärke nach der Bruchfuge zu nicht erforderlich.

Wird das in Frage ftehende Tonnengewölbe in feinen Anfängern bis zur Bruchfuge nicht in wagrechten Schichten aufgemauert, fo ift noch zu prüfen, ob der Normaldruck, welcher die wagrechte Widerlagsfuge trifft, nicht eine gröfsere Gewölbftärke verlangt, als die bis jetzt feft gefetzte ift. Da für diefe Fuge Winkel α gleich 90 Grad wird, fo erhält man nach Gleichung 152 fofort $N = G$ und weiter nach Gleichung 161, da $\sin \alpha = \sin 90 = 1$ und $\sin \frac{\alpha}{2} = \sin 45$ Grad $= \frac{\sqrt{2}}{2}$, alfo $(\sin 45)^2 = \left(\sin \frac{\alpha}{2}\right)^2 = \frac{1}{2}$ ift,

$$G = 3 \left[0{,}38 + 0{,}3 + \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot \frac{1}{2} + \left(0{,}38 + 0{,}3 + 6 \cdot \frac{1}{2}\right) \frac{0{,}38}{3}\right] = \infty 6{,}44.$$

Bringt man $G = N = 6{,}44$ in Gleichung 150, fo folgt

$$d_1 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - 6{,}44)\,6{,}44} = 0{,}39^{m}.$$

Diefe Stärke weicht nur um 1^{cm} von der früher erhaltenen Stärke ab, fo dafs d füglich durchweg beibehalten werden könnte. Die Unterfuchung lehrt aber, dafs für Halbkreisgewölbe bei der Beftimmung der Gewölbftärke mit Vorficht verfahren werden mufs, dafs wiederum wagrecht aufgemauerte Anfänger rathfam erfcheinen oder dafs bei gröfseren Tonnengewölben das Verlaffen der als Halbkreis auftretenden Erzeugenden und Erfetzen derfelben durch einen Parabelbogen, deffen Mittellinie eine mögliche Mittellinie des Druckes ift, fich als erwünfcht und als räthlich zeigt.

139.
Stärke anders geformter Gewölbe.

Ift bei halbkreisförmigen Tonnengewölben in der angegebenen Weife die Gewölbftärke zu berechnen, fo kann daffelbe Verfahren der Unterfuchung auch bei Tonnengewölben, deren Erzeugende elliptifche Bogen, Korbbogen, Parabelbogen oder Spitzbogen find, und ferner auch bei flachbogigen, fo wie bei einhüftigen Gewölben zur Anwendung kommen. Da hierbei die Beftimmung des Gewölbfchubes H Hand in Hand geht mit dem Feftlegen der Form der Wölblinie, der Gewölbftärke und gleichzeitig beeinflufst wird durch die in der Belaftungsfläche ausgedrückte Ueberlaft des Gewölbes, fo wird zur Vermeidung vielfacher oder umftändlicher Rechnungen die erfte Ermittelung von H am einfachften auf graphifchem Wege vorgenommen [163].

140.
Rondelet's Formeln für die Gewölbeftärke.

Allerdings ift auch hierbei vorweg eine Gewölbftärke fchätzungsweife anzunehmen. Um diefe Schätzung zu erleichtern, bedient man fich wohl der empirifchen Formeln, welche aber, wie ausdrücklich hier betont werden mag, ein weiteres genaueres Feftlegen der Gewölbftärke in jedem einzelnen Falle durchaus nicht ausfchliefsen dürfen. Von derartigen empirifchen Regeln fpielen in der Literatur des Bauwefens immer noch die von *Rondelet* aufgeftellten Formeln eine Rolle, wovon die folgenden hier angeführt werden mögen.

---

[163]) Siehe Theil I, Band 1, zweite Hälfte diefes »Handbuches«, Art. 483, S. 453 (2. Aufl.: Art. 264, S. 260).

Für Gewölbe mit halbkreisförmiger und auch mit elliptifcher Wölblinie und Quadern als Wölbmaterial, fo wie unter der Vorausfetzung, dafs diefe Gewölbe im Widerlager doppelt fo ftark find wie im Scheitel, foll, wenn d die Schlufsfteinftärke und s die Spannweite (in Met.) bezeichnen, fein:

1) für unbelaftete Gewölbe: $d = 0{,}01\, s + 0{,}08$ Met.,
2) für mittelftark belaftete Gewölbe: $d = 0{,}02\, s + 0{,}16$ Met. und
3) für ftark belaftete Gewölbe: $d = 0{,}04\, s + 0{,}32$ Met.

So würde z. B. das zuletzt unterfuchte, mittelftark belaftete Tonnengewölbe mit dem Halbmeffer von 3 m, alfo der Spannweite von 6 m, wenn daffelbe ftatt aus Backfteinmaterial aus Quadern ausgeführt werden follte, nach der Regel 2 eine Scheitelftärke $d = 0{,}02 \cdot 6 + 0{,}16 = 0{,}28$ m erhalten.

Nach Gleichung 142, welche für Quadergewölbe zu benutzen ift, würde, da H in dem erwähnten Beifpiele zu 1,49 gefunden worden ift, welcher Werth auch hier beibehalten werden kann,

$$d = \frac{1}{60} \sqrt{(180 - 1{,}49)\, 1{,}49} = 0{,}272 \text{ m}$$

fich ergeben haben, mithin nur eine äufserft geringe Abweichung aufweifen.

Für die Stärke am Widerlager würde nach der *Rondelet*'fchen Regel die Abmeffung d_1 fich zu $2\,d = 0{,}56$ m feft ftellen, welche als reichlich grofs anzufehen ift. Für den Normaldruck in der Widerlagsfuge würde nach Gleichung 152 fich $N = G$ ergeben. Bei einer gleichmäfsigen Stärke $d = 0{,}28$ m wird nach Gleichung 161, worin $\sphericalangle\, \alpha = 90$ Grad zu fetzen ift,

$$G = 3\left[0{,}28 + 0{,}3 + \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot \frac{1}{2} + \left(0{,}28 + 0{,}3 + 6 \cdot \frac{1}{2}\right) \frac{0{,}28}{3}\right] = \infty\, 5{,}75 = N.$$

Unter Benutzung von Gleichung 148 erhält man

$$d_1 = \frac{1}{180} \sqrt{(540 - 5{,}75)\, 5{,}75} = 0{,}308 \text{ m}$$

als Näherungswerth, alfo weit kleiner, als die nach der Regel von *Rondelet* gefundene Stärke am Widerlager. Aber felbft, wenn G auf 7 anwachfen würde, fo würde d_1 erft gleich 0,34 m werden.

141. Mittellinie des Druckes.

Wie nun aber auch die Gewölbftärke für ein auszuführendes Gewölbe beftimmt fein mag, immer ift es zur Gewinnung der Ueberzeugung von der Sicherheit und Haltbarkeit deffelben anzurathen, durch Conftruction der Mittellinie des Druckes das Gewölbe auf feine Standfähigkeit einer Prüfung zu unterziehen, um danach, wenn die Belaftung des Gewölbes, was meiftens der Fall ift, nicht geändert werden darf, entweder die Gewölbftärke oder die Form der Wölblinie je für fich allein oder auch unter befonderen Umftänden beide gleichzeitig zu ändern, damit man für die Standfähigkeit des Gewölbes günftige Ergebniffe erziele. Die dazu nöthigen Verfahren werden hier als bekannt vorausgefetzt. Nur auf einen Punkt möge noch die Befprechung geführt werden.

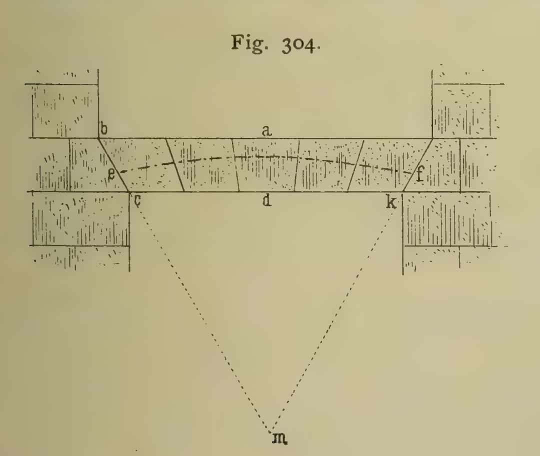
Bei den oben angeftellten Unterfuchungen ift zur Berechnung des möglichft kleinften Gewölbfchubes H der Angriffspunkt deffelben im höchften Punkt der gedachten Scheitelfuge angenommen, und eben fo ift auch der in der Wölblinie gelegene vordere Punkt der Bruchfuge, bezw. der Widerlagsfuge als ein Angriffspunkt der Mittelkraft, welche aus dem Gewölbfchube und aus dem von der gedachten Scheitelfuge bis zur Bruchfuge entftehenden Gefammtgewicht des Gewölbkörpers entfpringt, angefehen, fo dafs diefe beiden Punkte als Punkte auftreten würden, welche einer mit dem Gewölbfchube H gezeichneten Mittellinie des Druckes angehören. Bei diefer Annahme würde ein Druck von endlicher Gröfse auf eine Linie, alfo auf eine Fläche von unendlich kleiner Gröfse kommen, d. h. der Druck für eine Flächeneinheit würde an den angenommenen Angriffsftellen einen unendlich grofsen Werth annehmen, welchem kein Material Widerftand leiften kann, da daffelbe nicht abfolut ftarr, fondern in gewiffem Grade prefsbar ift. Die Folge von der

Prefsbarkeit oder der Elafticität des Wölbmaterials ift, dafs die Angriffspunkte der bezeichneten Kräfte fich von den äufserften Kantenpunkten zurückziehen und mehr nach dem Innneren der Gewölbfläche verlegen. Wie weit diefes Zurückziehen eintritt, ift mit Beftimmtheit nicht zu fagen; dafs daffelbe aber in mehr oder weniger hohem Grade der Fall ift, zeigen viele ausgeführte, als vollftändig ftabil geltende Gewölbe, namentlich Halbkreisgewölbe und gedrückte Tonnengewölbe nach der Ausrüftung an den fog. gefährlichen Stellen in der Nähe des Scheitels, der Bruchfuge und der Widerlagsfuge, indem in der Nähe des Scheitels in den Fugen an der Stirn nach unten zu leichte Haarriffe wahrzunehmen find, während in der Nähe der Kanten oben am Rücken des Gewölbes die Steine fich fcharf an einander preffen. Eben folche Erfcheinungen treten an den Bruchfugen ein, wobei die Steine vorn an der Fugenkante in der inneren Wölblinie fich fcharf preffen und in den Fugen jene Haarriffe in der Nähe der Rückenlinie fich bilden, während an den Widerlagsfugen, je nachdem der durch die Mittellinie des Druckes, welche für den möglichft kleinften Gewölbfchub ermittelt ift, gefundene Preffungspunkt der inneren oder der äufseren Wölblinie am nächften liegt, die Preffungen zwifchen den Steinen in der nächft gelegenen Wölblinie, die Haarriffe in den Fugen nach der entgegengefetzten Richtung fich kund geben. Hiernach lehrt diefe Erfahrung, dafs bei den meiften als Wölbmaterial benutzten Steinen im Ganzen die Mittellinie des Druckes an jenen bezeichneten Stellen fich doch nur in mäfsiger Gröfse von den Kanten der Wölbfteine zurückzieht.

Scheffler fagt[164]), dafs es für die Ausführung der Gewölbe hinreichende Sicherheit gewähren möchte, wenn von der Vorausfetzung ausgegangen wird, dafs die Mittellinie des Druckes bis auf den vierten Theil der Gewölbftärke in den vorhin gekennzeichneten Fugen zurückgedrängt werden könne und wenn ferner die Gewölblinie, fo wie die Stärke des Gewölbes fo genommen werden, dafs nach Abzug eines inneren und eines äufseren Streifens, von denen jeder den vierten Theil der Gewölbftärke zur Breite hat, der verbleibende innere Gewölbftreifen, welcher noch eine Breite gleich der halben Gewölbftärke behält, nach den Gefetzen für die Mittellinie des Druckes mit dem möglichft kleinften Gewölbsfchube, welcher für diefen inneren Streifen nebft der auf denfelben kommenden Gefammtbelaftung eintritt, auf feine Stabilität unterfucht wird, wobei je nach den bei diefer Unterfuchung fich ergebenden Refultaten noch durch etwaige Aenderung der Form der Wölblinie, der Gewölbftärke oder gleichzeitige Aenderung beider Stücke zweckmäfsige Vorkehrungen für die Stabilität des Gewölbes getroffen werden können.

Von Vielen wird verlangt, dafs ein Gewölbe eine folche Form der Wölblinie und eine folche Stärke erhalten foll, dafs eine Mittellinie des Druckes in die Gewölbfläche eingezeichnet werden kann, welche an jeder Stelle mindeftens um ein Drittel der Gewölbftärke von den betreffenden Kanten der Steine zurückbleibt[165]). Ob aber in Wirklichkeit die nach diefen Annahmen gezeichnete Mittellinie des Druckes auch nach der Ausführung und Ausrüftung fonft ftabiler und nicht mit unnöthiger Stärke verfehener Gewölbe eine folche Lage beibehält, ift in hohem Grade ungewifs und unter Umftänden unmöglich.

Fig. 304.



Betrachtet man z. B. ein fcheitrechtes Gewölbe (Fig. 304), welches als unbelafteter Sturz für eine Oeffnung von nur 1,5 m Weite aus Quadermaterial in einer Scheitelftärke von 0,3 m ausgeführt und wobei $cm = ck$ genommen ift, fo bekundet die Unter-

[164]) In feiner »Theorie der Gewölbe« etc. Braunfchweig 1857. S. 69.

[165]) Siehe Theil I, Band 1, zweite Hälfte diefes »Handbuches«, Art. 479, S. 448 (2. Aufl.: Art. 272, S. 257).

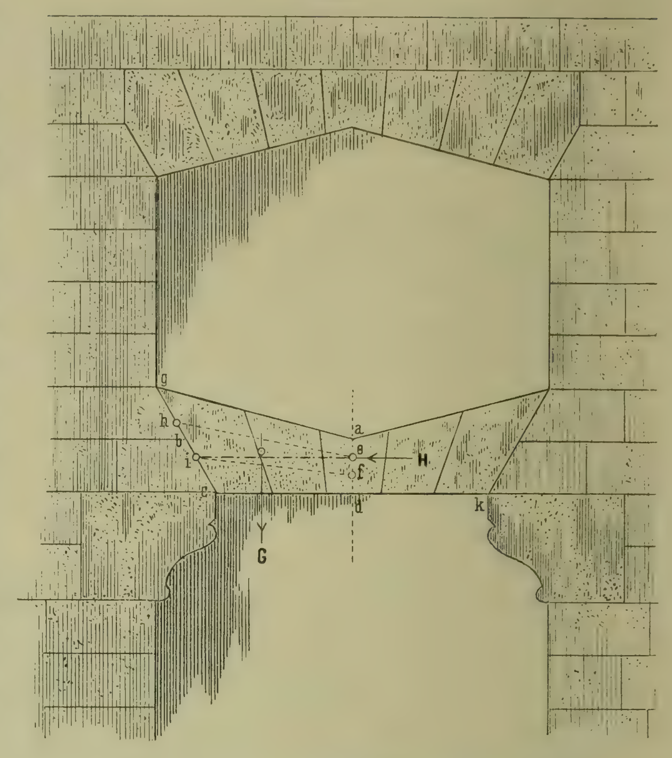


Fig. 305.

fuchung diefes Sturzes feine Stabilität. Für denfelben ift auch eine Mittellinie des Druckes *ef* im inneren Drittel möglich.

Benutzte man einen folchen Sturz nach Fig. 305 als unteren Abfchlufs einer Lichtöffnung in der Weife, dafs jetzt, unter Beibehaltung der Scheitelftärke $ad = 0{,}3$ m, die Stärke *ceg* am Widerlager gleich dem Doppelten von der früheren Stärke *cb* würde, und wären in der gedachten Scheitelfuge *ad* die Strecken $ae = ef = fd = \frac{ad}{3}$ und eben fo die Strecken $gh = hi = ic = \frac{gc}{3}$, wobei hier abfichtlich bei *g* die fonft nicht günftige Schneide am Kämpferfteine gelaffen ift, fo würde, wenn die Mittellinie des Druckes im inneren Drittel *efih* bleiben follte, diefe Linie eine wagrechte gerade Linie *ei* fein, welcher ein unendlich grofser Gewölbfchub und demnach eine unendlich grofse Scheitelftärke zukommen würde, was vollftändig ungereimt ift. Die in Wirklichkeit auftretende Mittellinie des Druckes wird fich den Kanten in *a* und *c* nähern und das innere Drittel verlaffen müffen, da *H* einen endlichen Werth und im vorliegenden Falle fogar einen folchen von ziemlich geringer Gröfse annehmen mufs.

Verfuche mit Modellen von unbelafteten Halbkreisgewölben bekunden gleichfalls eine nahezu an den Kanten der fog. gefährlichen Stellen des Gewölbes eintretende Lage der Mittellinie des Druckes. Bei der mittels des möglichft kleinften Gewölbfchubes gezeichneten derartigen Linie ergiebt fich, wie fchon in Art. 136 (S. 182) angeführt, dafs bei einem folchen Gewölbe mit gleicher Dicke die Stärke eine Abmeffung von $\frac{1}{17{,}544}$ der Spannweite haben mufs, wenn das Gewölbe eben noch im Gleichgewichtszuftande fein foll. Hiernach angeftellte Verfuche zeigen daffelbe Ergebnifs. Sollte nun eine Mittellinie des Druckes bei einem unbelafteten Halbkreisgewölbe im inneren Drittel liegen, fo müffte das Gewölbe eine Dicke von etwa $\frac{1}{5{,}85}$ der Spannweite deffelben befitzen, alfo bei 5,85 m Spannweite 1 m ftark werden, ein Ergebnifs, welches den bei ftabilen Halbkreisgewölben in der Praxis gewonnenen Erfahrungen vollftändig widerfpricht und demnach als gänzlich unzuläffig gelten mufs.

Wie in gegebenen Fällen und unter befonderen Umftänden die Annahme für die Lage einer möglichen Mittellinie gemacht werden kann, welche gewiffen Bedingungen entfpricht, ift in Theil I, Band 1, zweite Hälfte (Art. 476, S. 444 [166]) diefes »Handbuches« näher erörtert, und es wird hierauf verwiefen; die Bemerkung möge jedoch noch gemacht werden, dafs, wenn für Gewölbebauten im Hochbau-

[166]) 2. Aufl.: Art. 265, S. 250.

wefen nur fehr prefsbares Material, welches allerdings bei der Ausführung von einigermafsen gröfseren und belafteten Deckengewölben, wenn irgend thunlich, nicht benutzt werden follte, zur Anwendung gelangt, die Gewölblinie und die Gewölbftärke zweckmäfsig fo beftimmt werden, dafs eine Mittellinie des Druckes möglich wird, welche mit der Mittellinie der Stirnfläche des Gewölbes, alfo mit der Axe diefer Fläche fich ganz oder nahezu deckt. Eine folche Mittellinie des Druckes befitzt jedoch fehr grofse Aehnlichkeit mit einer Parabel, deren Axe mit der Scheitel-Lothrechten des Gewölbes zufammenfällt, fo dafs auch in einem folchen Falle die Parabel als Bogenlinie vortheilhaft auftritt.

142. Widerlagsftärke.

Verhältnifsmäfsig einfach ift die Beftimmung der Stärke der Widerlager der Gewölbe. Sobald der auf die Widerlagsfuge (Kämpferfuge) kommende Kämpferdruck auf Grund der für die Gewölbftärke gegebenen Erörterungen und durch die ftatifchen Unterfuchungen des eigentlichen Gewölbkörpers bekannt geworden ift, fo ift diefer Druck mit dem Gewichte des Widerlagskörpers, deffen Tiefe wiederum rechtwinkelig zur Bildfläche gemeffen, wie es beim Gewölbe der Fall war, gleich der Längeneinheit genommen wird, zufammenzufetzen, um eine Mittelkraft zu beftimmen, welche die Aufftand- oder Fufsfläche der Widerlagsmauer in einem Punkte fchneidet, welcher von der äufseren Seitenkante noch einen genügend grofsen Abftand befitzt. Diefer Abftand, von der als Drehkante des Widerlagskörpers auftretenden Begrenzungslinie der Grundfläche aus gemeffen, liegt in der Kräfteebene und beträgt zweckmäfsig $\frac{1}{3}$ der Widerlagsftärke d.

Um für den Gewölbefchub H bei der Ermittelung der Widerlagerftärke einen Werth zu erhalten, welcher thunlichft vortheilhaft noch gleichfam mit einem Sicherheits-Coefficienten behaftet ift, nimmt man an, dafs H nicht im höchften Punkte, fondern im Mittelpunkte der Scheitelfuge angreift und dafs der Mittelpunkt der Kämpferfuge der Angriffspunkt des Kämpferdruckes ift, hervorgegangen aus H und dem Gewichte G des Gewölbes mit feiner Belaftung.

Da die Stärke des Widerlagers noch unbekannt, die Höhe deffelben aber in den meiften Fällen vorgefchrieben ift, fo hat man zunächft eine Widerlagsftärke zu wählen und darauf die Stabilitätsunterfuchung des als Widerlager auftretenden Stützkörpers entweder durch Rechnung oder oft einfacher und durchfichtiger auf graphifchem Wege vorzunehmen. Bei dem zuletzt genannten Wege wird eine Mittellinie des Druckes auch im Querfchnitte des Widerlagers eingezeichnet und diefe läfft erkennen, ob diefelbe bei der gewählten Stärke für jede Fuge im Widerlager bei der rechteckig gedachten Fugenfläche den bezeichneten äufseren Abftand $\frac{1}{3}$ der Stärke, von der Drehkante aus gemeffen, überfchreitet oder denfelben entfprechend innehält. Nach diefen Prüfungen find, wenn erforderlich, etwaige Veränderungen in den Stärkeabmeffungen des Widerlagers vorzunehmen.

143. Beifpiel.

In welcher Weife die Stabilitätsunterfuchung eines Tonnengewölbes und feines Widerlagers unter Benutzung der Verfahren der graphifchen Statik vorgenommen werden kann, möge an einem Beifpiele gezeigt werden.

Ein halbkreisförmiges Tonnengewölbe, deffen Spannweite, gegebenen Gebäudeaxen entfprechend, 6 m betragen mufs, hat von der feften Baufohle ab nach aufsen frei ftehende Widerlager, deren Höhe mit der Oberkante des Fufsbodens über dem Gewölbe in wagrechter Ebene abgegrenzt ift. Ueber dem Gewölbe ift ein leichter Schuppen vorhanden, welcher nur in den Binderfüfsen das Widerlager belaftet. Auf dem Gewölbe lagert durchgängig und gleichförmig vertheilt als Brennftoff zu verwendende Coke

in einer Schütthöhe von $1{,}50$ m. Das Gewölbe ift in den Zwickeln ausgemauert, fonft mit Sandfchüttung und Fufsbodenpflafter verfehen, fo dafs die Oberfläche des letzteren $0{,}20$ m über dem höchften Rückenpunkte des Gewölbes liegt.

Für die Ausführung des Gewölbes und der Widerlager ift Backfteinmaterial beftimmt.

Da das Eigengewicht der Coke gleich $0{,}42$ und jenes des Backfteinmauerwerkes gleich $1{,}6$ ift, fo beträgt das Gewicht der gefchütteten Coke 420 kg für 1 cbm, dasjenige des Backfteinmauerwerkes 1600 kg für 1 cbm.

Um für die Stärke, welche dem Gewölbe gegeben werden mufs, einen Anhalt zu gewinnen, find die Gleichungen 160 u. 145 zu benutzen, nachdem die Gewölbebelaftung durch das gleich grofse Gewicht von Backfteinmauerwerk erfetzt gedacht ift. Da für die Ausmauerung der Gewölbzwickel, für die Bettung des Fufsbodenpflafters und für das letztere felbft das Eigengewicht nahezu gleich demjenigen des Backfteinmauerwerkes angenommen werden kann, fo ergiebt fich für diefe Theile zunächft eine Belaftungshöhe von $0{,}20$ m über dem Gewölbrücken im Scheitelloth und hierdurch eine erfte wagrechte Belaftungslinie.

Die Cokefchüttung ift in $1{,}5$ m Höhe wagrecht abgeglichen, und es kann bei der vorläufigen Rechnung von den Seitenböfchungen diefer Schüttung abgefehen, alfo die Schütthöhe für den ganzen Querfchnitt des Gewölbes beibehalten werden. Der Abftand x der zugehörigen Belaftungslinie, entfprechend dem Backfteinmaterial, von der feft gelegten erften Belaftungslinie ergiebt fich offenbar durch den Ausdruck

$$1 \cdot 1 \cdot 1{,}5 \cdot 420 = 1 \cdot 1 \cdot x \cdot 1600$$

als

$$x = \frac{1{,}5 \cdot 420}{1600} = 0{,}394 \text{ m},$$

wofür $x = 0{,}4$ m gefetzt werden foll. Somit entfteht eine gefammte Belaftungshöhe

$$h = 0{,}2 + 0{,}4 = 0{,}6 \text{ m}$$

und demnach weiter, wenn die Gewölbftärke $d = d_1$ vorläufig zu $0{,}38$ m gewählt, wenn ferner die wagrechte Aufmauerung des Widerlagers bis zum Bruchwinkel α von 60 Grad ausgeführt wird, beim Halbmeffer $r = 3$ m, fofort nach Gleichung 160

$$H = \frac{\frac{3}{4}}{6\left(0{,}38 + 2 \cdot 3 \cdot \frac{1}{4}\right)} \left\{ 9 \left[3\,(0{,}38 + 0{,}6) + 3 \cdot \frac{1}{4}\right] - 3\left(0{,}38 + 0{,}6 + 2 \cdot 3 \cdot \frac{1}{4} \cdot 0{,}38^2\right) \right\} = 1{,}97$$

und folglich nach Gleichung 145

$$d = \frac{1}{50} \sqrt{(180 - 1{,}97)\,1{,}97} = \frac{18{,}727}{50} = 0{,}3745 \text{ m}.$$

Hiernach ift d zu $0{,}38$ m feft zu fetzen.

Für die Berechnung der Stärke d_1 der Widerlagsfuge ergiebt fich vorweg nach Gleichung 161

$$G = 3 \cdot 0{,}866 \left[0{,}38 + 0{,}6 + \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot \frac{1}{4} + \left(0{,}38 + 0{,}6 + 2 \cdot 3 \cdot \frac{1}{4}\right) \frac{0{,}38}{3}\right] = 4{,}88\,,$$

fodann nach Gleichung 153

$$N = 1{,}97 \cdot 0{,}5 + 4{,}88 \cdot 0{,}866 = 5{,}2$$

und endlich nach Gleichung 150

$$d_1 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - 5{,}2)\,5{,}2} = \frac{52{,}7}{150} = 0{,}35 \text{ m},$$

alfo kleiner als d, fo dafs $d_1 = d$ angenommen und das Gewölbe in gleicher Stärke ausgeführt werden kann.

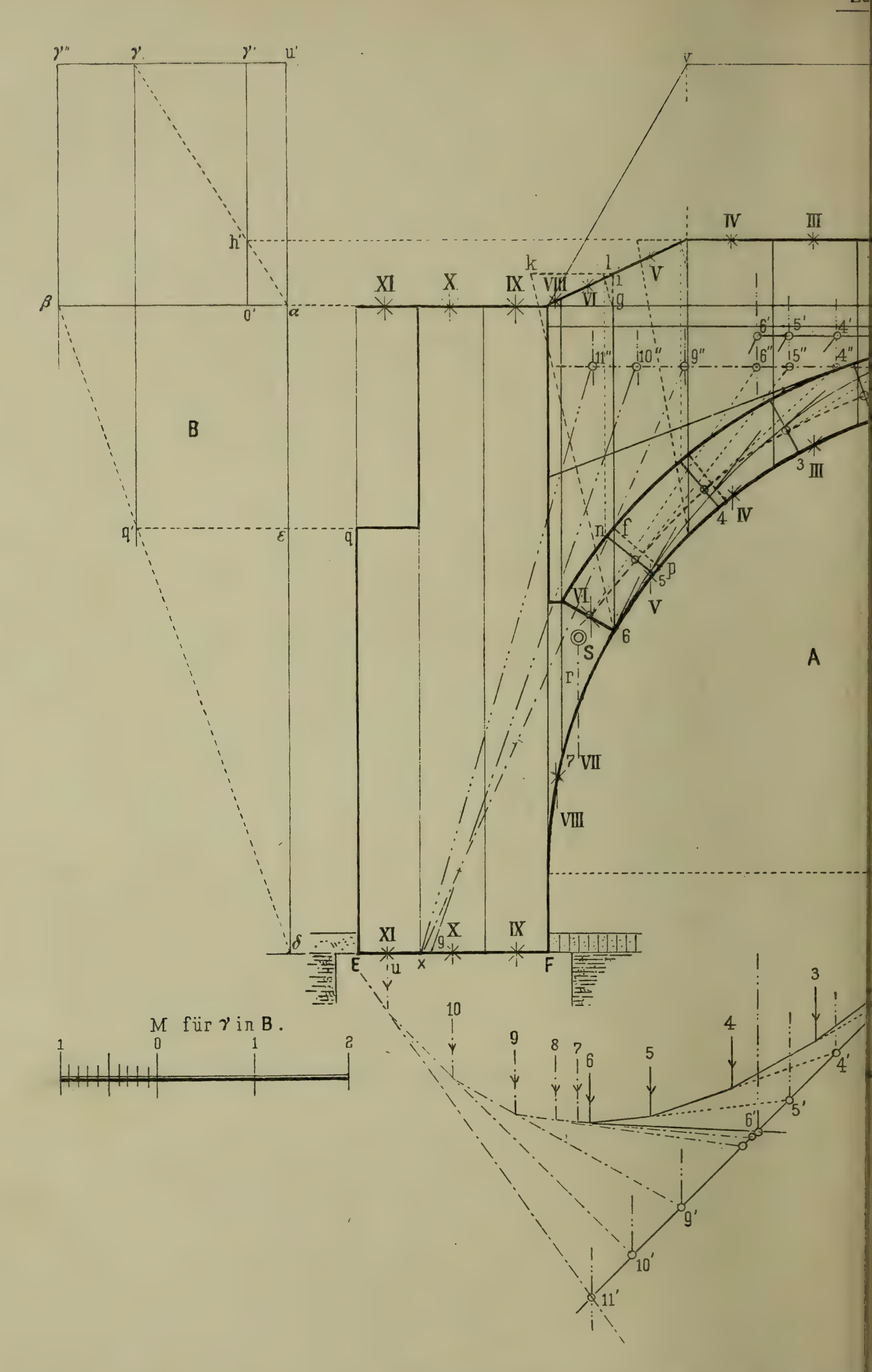
Die Stärke des Gewölbe-Widerlagers foll einftweilen noch unbeftimmt bleiben.

Nach diefen vorläufigen Ermittelungen ift auf der neben ftehenden Tafel im Plane *A* das Gewölbe fammt feiner Belaftung unter der Annahme aufgetragen, dafs die Gewölbtiefe fenkrecht zur Bildfläche gleich der Längeneinheit fei und dafs auf der Widerlagsmauer für diefe Tiefe keine weitere Laft der Conftruction des über dem Gewölbe befindlichen Schuppens ruhe.

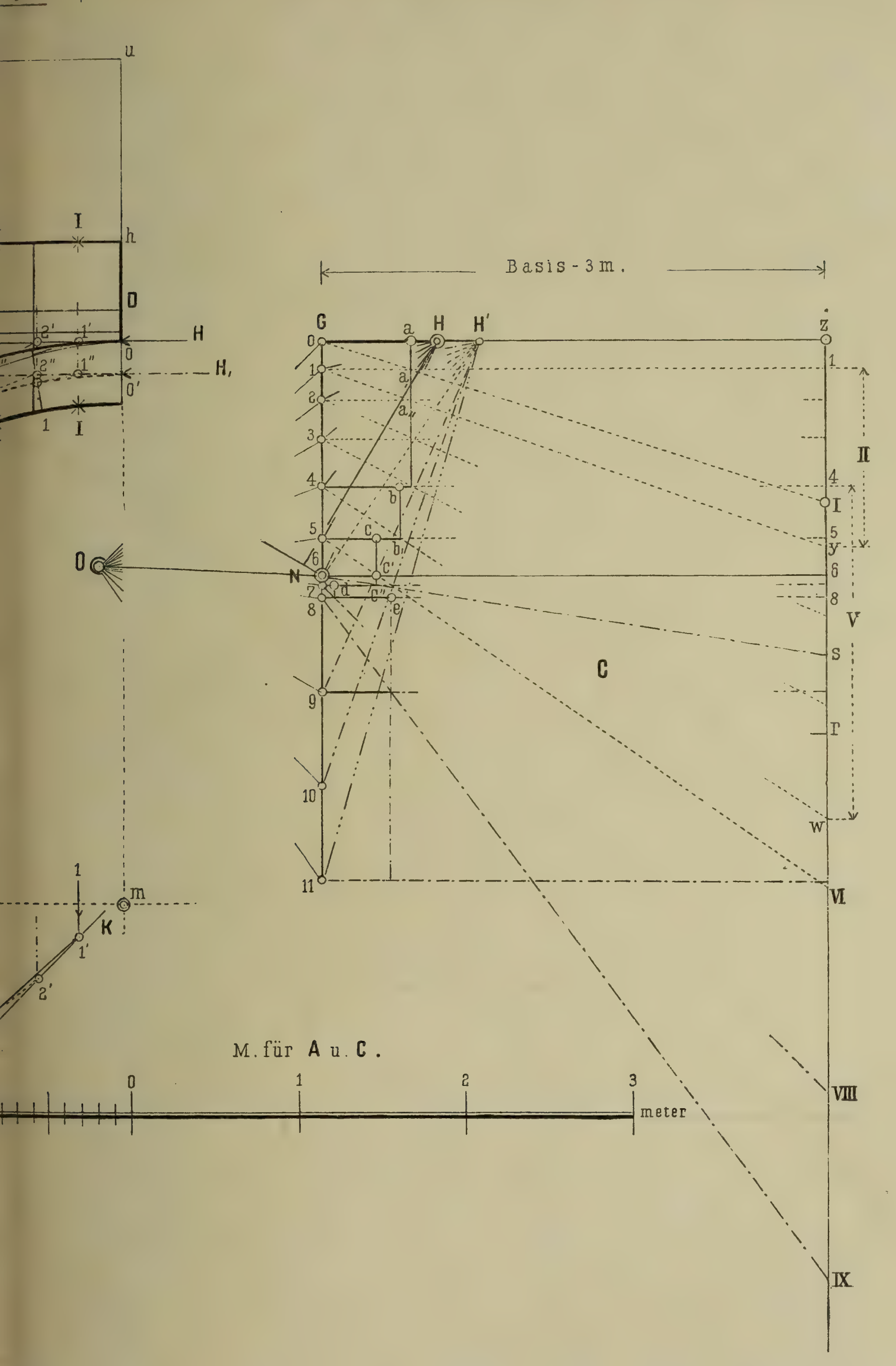
Die Verwandelung der Cokefchüttung in Backfteinmauerung ift unter Berückfichtigung der Böfchung diefer Schüttung im Plane *B* durch Zeichnung vorgenommen.

Ift allgemein γ das Eigengewicht des Wölbmaterials W, γ_1 das Eigengewicht des Belaftungsmaterials S, fo befitzt ein Körper des Materials S, deffen Grundfläche 1 qm, deffen Höhe h Met. beträgt, ein Gewicht $G_1 = 1 \cdot h\,\gamma_1 \cdot 1000$ kg und ein Körper des Materials W bei einer Grundfläche von 1 qm und einer Höhe x Met. ein Gewicht $G = 1 \cdot x\,\gamma \cdot 1000$ kg.





Stabilitäts-Unterfuchung eines fymmetrifc



Tonnengewölbes und feines Widerlagers.



Soll nun G gleich G_1 werden, fo folgt

$$x\gamma = h\gamma_1,$$

d. h.

$$\frac{x}{h} = \frac{\gamma_1}{\gamma},$$

wonach x als die fog. reducirte oder erfetzte Belaftungshöhe leicht zu conftruiren ift.

Nimmt man im Plane B die Länge $u_1\gamma$ nach einem beliebigen Mafsftabe gleich der Mafszahl γ, hier gleich 1,6, und eben fo $u_1\gamma_1$ nach demfelben Mafsftabe gleich der Mafszahl γ_1, hier gleich 0,42, fo wird, fobald auf dem aus der Zeichnung erfichtlichen Wege $u_1\alpha$ gleich der Schütthöhe Du des Planes A abgetragen und die gerade Linie $\alpha\gamma$ gezogen ift, in der Länge o_1h_1 der durch γ_1 zu $u_1\alpha$ geführten Parallelen γ_1o_1 die reducirte Belaftungshöhe erhalten; denn es ift

$$\frac{o_1h_1}{\alpha u_1} = \frac{\gamma_1}{\gamma}.$$

Diefe reducirte Belaftungshöhe ift, da uv wagrecht liegt, bis zu einer durch v im Plane A geführten Lothrechten beizubehalten, während von hier ab bis zur inneren Kante des Widerlagers die Belaftungslinie zufolge der Böfchung der Cokefchüttung geneigt in gerader Linie abfällt. Ift die obere Begrenzungslinie der gegebenen Belaftung von irgend welcher Geftalt, welche verfchiedene Höhen bedingt, die nach und nach zu reduciren find, fo bleibt für jede einzelne Höhe das angegebene Verfahren daffelbe. Die Verbindung der Endpunkte der reducirten Höhen liefert die gefuchte Belaftungslinie.

Die Fläche des Gewölbquerfchnittes nebft der reducirten Belaftungsfläche, wobei die Zwickelausmauerung und der Fufsbodenbelag mit Bettung einer weiteren Reduction, wie vorhin angegeben, nicht bedurften, ift vermöge der vom Scheitellothe aus fymmetrifch auftretenden Form und Belaftung des Gewölbes nur zur Hälfte dargeftellt. Durch lothrechte Theillinien ift diefelbe in Einzelftreifen oder Lamellen zerlegt, wobei eine Theillinie mit der durch v ziehenden Lothrechten zufammenfallend angenommen ift. Links von derfelben find noch 3 Lamellen von verfchiedener Breite eingefügt, von denen die eine mittlere durch Lothrechte begrenzt wird, welche durch die Grenzpunkte der Widerlagsfuge geführt find, eine Anordnung, welche in den meiften Fällen für diefe Fuge zweckmäfsig ift. Rechts von der durch v laufenden Theillinie find bis zum Scheitellothe hm noch beliebig viele Lamellen, hier vier derfelben, von gleicher Breite genommen.

Die von den Theillinien begrenzten Theilftreifen können in ihren Flächen, da im Allgemeinen verhältnifsmäfsig fchmale Stücke in der Zeichnung auftreten, für die praktifche Unterfuchung mit genügender Genauigkeit als Rechtecksflächen behandelt werden. Vielfach, und namentlich bei flachen Bogen, können auch die Strecken diefer Theillinien, welche innerhalb der Gewölbfläche liegen und hier von der inneren Wölklinie und der Rückenlinie abgefchnitten erfcheinen, fchon als Fugenlinien in fo fern gelten, als in denfelben die der Mittellinie des Druckes zukommenden Punkte in der Gewölbfläche aufgefucht werden. Bei den im Hochbauwefen auftretenden Tonnengewölben jedoch oder auch bei den Flachbogengewölben felbft, welche ab und an nur eine geringe oder faft gar keine Ueberlaft aufzunehmen haben, ift diefe Behandlung der Abfchnitte der Theillinien als Stücke, in welchen die Punkte der zu zeichnenden Mittellinie des Druckes aufgefucht werden, weniger angezeigt. Eben fo ift es in den erwähnten Fällen auch nicht ganz rathfam, die Fugen, in welchen die Punkte der Drucklinie ermittelt werden follen, geradezu von den Schnittpunkten der Theillinien mit der Rückenlinie, z. B. als Fuge fp, auslaufen zu laffen, zumal mit Leichtigkeit in jedem Falle eine Gewölbfuge ermittelt werden kann, welche von der auf ihr ruhenden Belaftung in möglichft richtiger Weife getroffen und in welcher dann ebenfalls in möglichft zutreffendem Grade der zugehörige Punkt der Mittellinie des Druckes zu beftimmen ift.

Sollte z. B. (Fig. 306) eine Fuge kl für eine beliebige Theillinie fe fo gefunden werden, dafs die Gewölbfläche mit der Belaftungsfläche von der Gröfse $bafe$ das auf diefe Fuge kl kommende Gewicht möglichft genau wiedergiebt, fo kann die folgende Ueberlegung Platz greifen. Es fei kl die richtige Fuge. Alsdann ruht auf derfelben ein Gewicht entfprechend der Fläche $apklb$. Diefe Fläche müffte der bei der Beftimmung der Mittellinie des Druckes in Rechnung oder hier im Sinne der graphifchen Statik in Behandlung genommenen Fläche $bafce$ gleich fein. Damit dies der Fall ift, müffte die Fläche leq gleich Fläche $qfpk$ fein. Dann würde auch Fläche leq + Fläche $eqkn$ = Fläche $qfpk$ + Fläche $eqkn$ fein müffen, oder was daffelbe ift, das als rechtwinkelige Dreiecksfläche anzufehende Stück lnk würde gleich fein müffen dem als fchmalen Paralleltrapez zu behandelnden Streifen $efpn$, welcher auch genügend genau als Rechtecksfläche von der Breite fi gelten darf. Danach ift

$$\frac{nl \cdot kl}{2} = ef \cdot fi;$$

mithin ift auch

$$\frac{nl}{ef} = \frac{fi}{\frac{1}{2}\,kl}\,.$$

Hierin ift kl die normale Dicke des Gewölbes in l, aber ftreng genommen, wie auch nl noch unbekannt. Zieht man jedoch durch den Schnittpunkt c der Theillinie ef mit der Rückenlinie des Gewölbes eine Hilfsfuge cd, fo ift ohne nennenswerthe Abweichung auch $cd = kl$ und $ed = nl$ zu nehmen, fo dafs nun weiter

$$\frac{ed}{ef} = \frac{fi}{\frac{1}{2}\,cd}$$

wird. Nach diefem Ausdrucke läfft fich fi und dann die Lage der Fuge kl, welche der Theillinie ef zugehört, einfach durch Zeichnung ermitteln. Zieht man durch den gemeinfchaftlichen Punkt f der Theil-

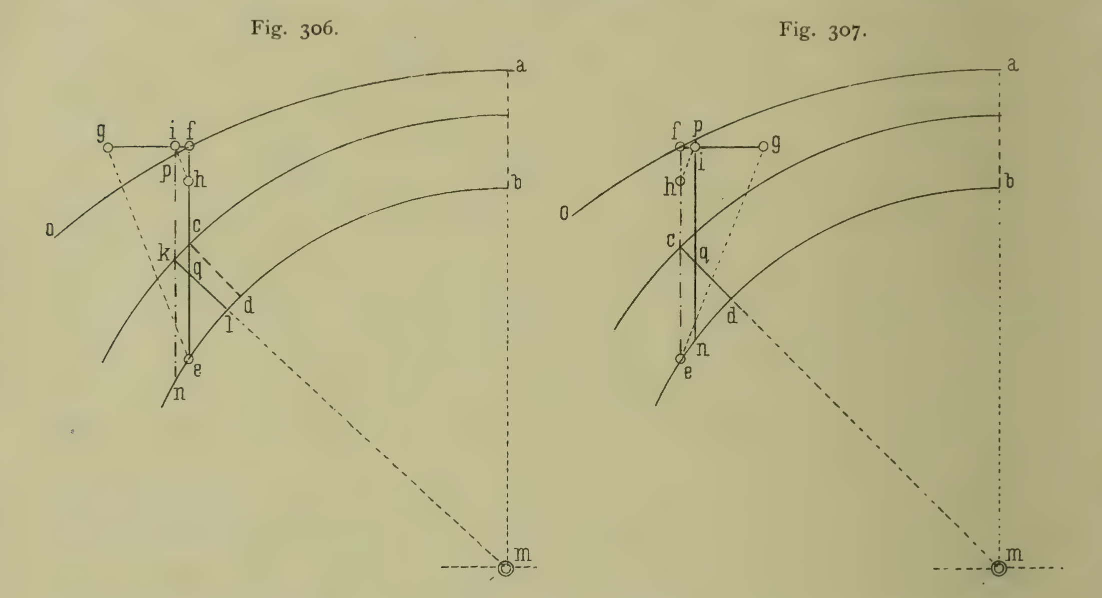


Fig. 306. Fig. 307.

linie ef und der Belaftungslinie die Gerade fg von der Länge gleich ed, trägt man auf der Theillinie ef die Strecke $fh = \frac{1}{2}\,cd$ ab, zieht man eg und hierzu durch h die Parallele hi, fo wird fi die gefuchte Breite des vorhin erwähnten Streifens $efpn$. Zieht man zuletzt durch i die Parallele in zu ef, fo trifft diefelbe den Gewölbrücken im Punkte k, durch welchen die gefuchte Fuge kl normal zur inneren Wölblinie zu führen ift.

Ift umgekehrt eine Fuge cd (Fig. 307) gegeben, fo wird auf Grund der gegebenen Ausführungen zunächft durch den Punkt c eine lothrechte Hilfstheillinie ef gelegt, $fg = ed$ und $fh = \frac{1}{2}\,cd$ abgetragen, nunmehr eg und die hierzu parallele Linie hi gezogen, um zuletzt in der durch i geführten Lothrechten pn die gefuchte Theillinie zu erhalten. Nach diefen Angaben find auf der umftehenden Tafel im Plane A die Fugen *1* bis *5* des Gewölbes eingetragen.

Zur graphifchen Ermittelung der Flächenwerthe der einzelnen im Allgemeinen als Paralleltrapeze erfcheinenden Theilftreifen find die mittleren Höhen *I I*, *II II* u. f. f. derfelben beftimmt, und hierauf ift die Verwandelung der Theilflächen in Rechtecksflächen mit einer beliebigen Bafis oz, hier zu 3 m gewählt, im Plane C vorgenommen.

Diefe Verwandelung oder die fog. Reduction der Theilftreifen auf eine beftimmte Bafis hat den Zweck, die durch Linien darzuftellenden Flächen-, bezw. Gewichtswerthe der Lamellen in einer für die weitere zeichnerifche Behandlung geeigneten Länge zu erhalten.

So ift im Plane C auf der lothrechten z-Linie die Strecke *z I* gleich der mittleren Höhe *I I* des erften Theilftreifens, deffen Gewicht für die Gewölbfuge *1* in Betracht kommt, abgefetzt; auf der wagrechten Linie oz ift die Länge oa gleich der Breite diefes erften Theilftreifens abgefchnitten, durch a

die Parallele zu zI gelegt und hierauf die Linie oI gezogen, welche auf der Linie a die Strecke aa_1 als reducirte Höhe des erften Theilftreifens abfchneidet.

Die durch a_1 parallel zu oz gezogene Linie liefert auf der Gewichtslinie G die Strecke $o1$, welche nach dem für die Zeichnung der Pläne A und C benutzten Mafsftabe zu meffen und mit der Bafiszahl, hier 3 m, zu multipliciren ift, um fofort den Flächeninhalt des erften Theilftreifens in Quadr.-Met., oder auch, da die Gewölbtiefe zu 1 m angenommen war, den körperlichen Inhalt diefes Theilftreifens in Cub.-Met. zu liefern.

Denn mit Bezugnahme auf die Zeichnung ift

$$\frac{aa_1}{oa} = \frac{zI}{oz},$$

d. h.

$$aa_1 \,.\, oz = oa \,.\, zI$$

oder

$$aa_1 \,.\, 3^{\text{qm}} = oa \,.\, zI \text{ Quadr.-Met.}$$

gleich der Fläche des erften Streifens.

Die Zeichnung liefert $aa_1 = o1$ zu $0{,}17^{\text{m}}$; daher befitzt der erfte Theilftreifen einen Flächeninhalt von $0{,}17 \,.\, 3 = 0{,}51^{\text{qm}}$ und bei der Tiefe von 1^{m} auch $0{,}51^{\text{cbm}}$.

Da 1^{cbm} Backfteinmauerwerk 1600^{kg} wiegt und alle Abmeffungen für die in Rechnung zu bringenden Gewölbe- und Belaftungsflächen auf Backfteinmauerwerk zurückgeführt find, fo würde der Körper des erften Theilftreifens ein Gewicht von $0{,}51 \,.\, 1600 = 861^{\text{kg}}$ befitzen.

In gleicher Weife ift auch die zweite Lamelle auf die gewählte Bafis reducirt; die mittlere Höhe IIII ift auf der z-Linie nun von 1 bis $y = II$ abgetragen, der Reductionsftrahl von der G-Linie aus als $1y$ geführt, und da die Breite der zweiten Lamelle ebenfalls $= oa = 1a_1$ ift, die reducirte Höhe $a_, a_{,,} = 12$ fofort abgefchnitten. Bei der fünften Lamelle ift eine Aenderung der Breite zu bemerken. Für diefen Streifen ift die mittlere Höhe VV von 4 bis w auf der z-Linie abgetragen, die Breite $4b$ auf der wagrechten Linie 44 abgefchnitten und vermittels des Reductionsftrahles $4w$ die reducirte Höhe $bb_1 = 45$ beftimmt.

Für die eigentliche Gewölbfläche kommen im Ganzen fechs Theilftreifen in Frage. Die Summe aller zugehörigen reducirten Höhen ift gleich der Strecke $o6$ im Plane C. Die Strecke $o6$ mifft $1{,}4^{\text{m}}$; mithin wird $1{,}4 \,.\, 3 = 4{,}2^{\text{qm}}$ als gefammter Flächeninhalt der Gewölbfläche mit Belaftung gefunden.

Bei der vorläufigen Berechnung von G, welche Gröfse an die Stelle des gefammten Flächeninhaltes zu treten hatte, wurde hierfür ohne Rückficht auf die Seitenböfchung der Schüttung $4{,}88^{\text{qm}}$ ermittelt.

Nach dem Feftlegen der Gewichte der einzelnen Theilftreifen, welche in den zugehörigen Schwerpunkten derfelben angreifen, ift weiter eine Mittellinie des Druckes für das Gewölbe conftruirt, welche vorweg dem möglichft kleinften Gewölbfchub entfpricht. Hierbei ift das folgende Verfahren beobachtet.

Bei der an und für fich geringen Breite der Lamellen kann die trapezartige Fläche derfelben ohne wefentlichen Fehler als Rechteck angefehen werden, fo dafs der Schwerpunkt diefer Flächen in der Mittellinie derfelben liegt.

Zeichnet man nun für die in II, III u. f. f. wirkenden Gewichte, bezw. für die Linienftrecken, welche diefelben als $o1$, 12 u. f. f. im Plane C darftellen, unterhalb des Planes A ein Hilfs-Seilpolygon mit Benutzung des an fich willkürlich aufserhalb der G-Linie gewählten Poles O, fo erhält man auf dem äufserften Seilftrahle K in $2'$ einen Punkt, durch welchen das refultirende Gewicht aus 1 und 2, in $3'$ einen Punkt, durch welchen das refultirende Gewicht aus 1, 2 und 3 u. f. f., im Punkte $6'$ einen Punkt, durch welchen das refultirende Gewicht aller Einzelgewichte von 1 bis 6 in lothrechter Richtung wirken mufs.

Für den möglichft kleinften Gewölbfchub H, welcher im vorliegenden Falle wagrecht gerichtet ift, weil das Gewölbe in Bezug auf das Scheitelloth fymmetrifch geformt und fymmetrifch belaftet ift, und welcher bei näherer Unterfuchung eine mögliche Mittellinie des Druckes liefert, ift der höchfte Punkt o der gedachten Scheitelfuge als Angriffspunkt genommen, während gleichzeitig als Durchgangspunkt der aus dem Schube H und dem Gefammtgewichte G entftehenden refultirenden Preffung der tieffte Punkt der Widerlagsfuge 6 angenommen ift. Um die Gröfse von H unter diefen Annahmen zu ermitteln, ift durch o die wagrechte, durch 6_1 der Linie K die lothrechte Linie geführt, welche fich auf der erfteren im entfprechenden Punkte $6'$ fchneiden. Zieht man im Plane A, von der Vorderkante 6 der Widerlagsfuge aus, den Strahl $66'$, fo ift hiermit die Lage der Mittelkraft aus H und G beftimmt.

Führt man hierauf im Plane C durch den Punkt 6 der Linie G die Parallele zu jenem Strahle $66'$, fo ergiebt fich im Abfchnitte Ho auf der durch o geführten Wagrechten oz der gefuchte Gewölbfchub H. Nach dem Mafsftabe beftimmt, ift die Strecke $Ho = 0{,}67^{\text{m}}$, folglich Ho felbft gleich $0{,}67$-mal Bafiszahl, alfo $Ho = 0{,}67 \,.\, 3 = 2{,}01^{\text{qm}}$, bezw. $2{,}01^{\text{cbm}}$.

Setzt man nunmehr H nach und nach mit den auf die einzelnen Fugen des Gewölbes gelangenden

Gewichten zusammen, so erhält man für die Fuge *1* ein Gewicht *1* = Strecke *01* im Plane *C*. Der Punkt *1'* auf der Linie *Ho* im Plane *A* entspricht der Richtungslinie des Gewichtes *01*. Zieht man im Plane *C* den Strahl *H1* und hierzu durch den Punkt *1* im Gewölbplane die Parallele, bis die Fuge *1* getroffen wird, so ist dieser Punkt ein Punkt der Mittellinie des Druckes.

Bis zur Fuge *2* kommen die Gewichtsstrecken *01* + *12* in Betracht; das aus beiden resultirende Gewicht wirkt in der Lothrechten *2' 2'*; mithin geht die resultirende Pressung, welche im Plane *C* durch den Strahl *H2* ausgedrückt wird, durch den Punkt *2'* der Linie *Ho* im Plane *A*. Zieht man also durch diesen Punkt *2'* die Parallele zu dem bezeichneten Strahle *H2*, bis dieselbe die Fuge *2* trifft, so ist ein zweiter Punkt der Mittellinie des Druckes gefunden. Das hiermit angegebene Verfahren wird in gleicher Weise für alle Fugen beobachtet. Die für *Ho* erhaltene Mittellinie des Druckes *o6* verbleibt der Zeichnung zu Folge ganz in der Gewölbfläche, so dass Gleichgewicht gegen Drehung vorhanden ist.

Da die auf die einzelnen Fugen kommenden Pressungen mit den Senkrechten zu den Fugen, je für sich betrachtet, Winkel einschliessen, welche weit kleiner bleiben, als der Reibungswinkel des Materials, welcher im Allgemeinen zu 35 Grad, bezw. in besonderen Fällen bei frischem Mörtel zu 27 Grad angenommen werden kann, so ist auch Gleichgewicht gegen Gleiten vorhanden. Die letztere Untersuchung ist in der Zeichnung nicht besonders mitgetheilt, auch für die Ausführung hier weniger von Bedeutung, weil die Gefahr, dass ein Gewölbe in Folge des Gleitens der Wölbsteine nicht standfähig ist, selten vorhanden ist, ausserdem aber auch leicht durch entsprechende Anordnung des Fugenschnittes, z. B. senkrecht zur Mittellinie des Druckes, beseitigt werden könnte.

Das untersuchte Gewölbe wird also als stabil gelten, vorausgesetzt, dass für den nun auf graphischem Wege gefundenen Gewölbschub $Ho = 2{,}01$ die früher durch vorläufige Rechnung für den Gewölbschub $H = 1{,}97$ erhaltene Gewölbstärke von $0{,}38$ m auch zutreffend ist.

Nach Gleichung 145 würde nunmehr

$$d = \frac{1}{50} \sqrt{(180 - 2{,}01)\, 2{,}01} = 0{,}378 \text{ m}$$

oder abgerundet $d = 0{,}38$ m werden, also mit dem angenommenen Werthe in Uebereinstimmung bleiben. Um den Normaldruck N für die Widerlagsfuge *6* zu erhalten, ist im Plane *C* durch den Punkt *6* nur die Parallele $6N$ zu dieser Widerlagsfuge zu ziehen und das Loth HN von H auf $6N$ zu fällen. Alsdann ist $N = HN$-mal Basiszahl.

In der Zeichnung ist $HN = 1{,}56$ m; mithin wird $N = 1{,}56 \cdot 3 = 4{,}68$ qm, bezw. $4{,}68$ cbm. Da früher unter Vernachlässigung der Böschung der Cokeschüttung N zu $5{,}2$ qm, also grösser gefunden wurde und für diesen Werth die Stärke d_1 schon unter $0{,}38$ m blieb, so ist auch nach der neuen Untersuchung d_1 zu $0{,}38$ m, also gleich d beizubehalten.

Da für Backsteingewölbe die Gewölbstärke im Scheitel nach Steinlängen bestimmt wird, so empfiehlt es sich, nach Gleichung 145, bezw. Gleichung 150 für die verschiedenen derartigen Stärken d die Grenzwerthe von H und N zu berechnen. In der folgenden Tabelle sind die zugehörigen Werthe von H und N für d von $^1/_2$ bis $2\,^1/_2$ Steinstärke zusammengestellt.

d	$^1/_2$ Stein = 0,12 m	1 Stein = 0,25 m	$1\,^1/_2$ Stein = 0,38 m	2 Stein = 0,51 m	$2\,^1/_2$ Stein = 0,64 m	
H	0,2	0,87	2,03	3,69	5,88	Quadr.-Met.
N	0,6	2,61	6,09	11,07	17,64	

Aus dieser Tabelle ergiebt sich für das untersuchte Gewölbe, welches einem Gewölbschube von $2{,}01$ qm ausgesetzt ist, dass im Falle einer grösseren Belastung für das Gewölbe, wie solche durch die Cokeschüttung gegeben war, der für $0{,}38$ m Stärke eintretende Grenzwerth $2{,}03$ für H überschritten würde und dass dann die Gewölbstärke im Scheitel schon zu 2 Steinlängen genommen werden müsste.

Da ein Gewölbe unbedingt stabil ist, wenn für dasselbe eine Mittellinie des Druckes möglich ist oder eintreten kann, welche die Mittelpunkte aller Fugen trifft, so ist im Plane *A* noch zur weiteren Prüfung des Gewölbes eine Mittellinie des Druckes gezeichnet, wobei der Mittelpunkt o_1 der gedachten Scheitelfuge und der Mittelpunkt *VI* der Widerlagsfuge als Endpunkte dieser neuen Mittellinie des Druckes angenommen sind.

Auf der wagrechten Linie $H_1 o_1$ find alsdann die den Punkten $1' 2'$ u. f. f. der Linie Ho, bezw. der Linie K entfprechenden Punkte $1''$, $2''$ u. f. f. bis $6''$ feft gelegt. Der Gewölbfchub $H' o$, welcher für die Mittellinie des Druckes $o_1 VI$ mafsgebend wird, ift beftimmt, fobald im Plane A der Strahl $6'' VI$ und hierzu parallel im Plane C der Strahl $6 H_1$ gezogen wird. Derfelbe beträgt $0{,}95 \cdot 3 = 2{,}85$ qm, ift alfo um das $\frac{2{,}85}{2{,}01}$-fache oder etwa 1,4-fache gröfser, als der Gewölbfchub Ho.

Die Conftruction der Mittellinie des Druckes erfolgt in gleicher Weife, wie früher, nur dafs jetzt die durch $1''$ geführte Preffungslinie der Fuge 1 parallel mit $H_1 1$, die durch $2''$ geführte Preffungslinie der Fuge 2 parallel mit $H_1 2$ läuft u. f. f.

Die hiernach gezeichnete Mittellinie des Druckes geht nahezu durch die Fugenmitten, fo dafs nunmehr die Prüfung der Stabilität des Gewölbes abgefchloffen werden kann.

Zur Auffindung der Stärke des Widerlagers ift vorweg angenommen, dafs die Grundfläche deffelben in der Ebene EF als feft gilt und dafs der Endpunkt x einer im Widerlager von einem Gewölbfchube $H_1 o$ abhängigen Mittellinie des Druckes die Widerlagerfuge in einem Abftande $Ex = \frac{1}{3} EF$ von der äufserften durch E gehenden Drehkante trifft. Selbftredend ift die Tiefe des Widerlagers wie beim Gewölbe gleich der Längeneinheit. Die Höhe deffelben ift durch die mit D zufammenfallende wagrechte Ebene gegeben.

Bei Ausführung des bis zur Bruchfuge wagrecht vorgemauerten Kämpferftückes ift diefes nebft dem darüber liegenden fchmalen Streifen mit zum Widerlager zu rechnen. Ueber 67 im Plane A liegt eine als Dreiecksfläche aufzufaffende Theilfläche, deren Schwerpunkt S leicht zu beftimmen, deren Grundlinie gleich r und deren Höhe gleich der Breite des Streifens VI ift, welche im Plane C als $6 c_1$ eingetragen war. Der Flächeninhalt diefes Dreieckes ift alfo $\frac{1}{2} r \cdot 6 c_1$. Da diefe Fläche auf die gewählte Bafis zu reduciren ift, d. h. in ein Rechteck verwandelt werden mufs mit der beftimmten Bafis oz und einer noch unbekannten Höhe η, fo mufs $\eta \cdot oz = \frac{1}{2} r \cdot 6 c_1$ oder

$$\frac{\eta}{\frac{1}{2} r} = \frac{6 c_1}{oz}$$

fein. Trägt man daher die Länge r als Strecke $6r$ auf der z-Linie ab, halbirt diefelbe in s, zieht den Reductionsftrahl $6s$, fo wird auf der durch c_1 geführten Lothrechten die Strecke $c_, c_{,,}$ abgefchnitten und $67 = c_, c_{,,}$ ergiebt das Gewicht der Dreiecks-Lamelle VII. Endlich ift auch noch die Strecke 78 als Gewicht der fchmalen Lamelle VIII in der genügend angegebenen Weife beftimmt. Seitlich von der durch F geführten Lothrechten beginnt der Widerlagskörper. Zunächft ift eine Lamelle IX von beliebiger, aber nicht übertriebener Breite angenommen und das Gewicht im Plane C als Strecke 89 ermittelt. Setzt man nun die Zeichnung des Hilfs-Seilpolygons für die Gewichte 7, 8 und 9 fort, fo wird auf der Linie K der Punkt $9'$ erhalten. Durch $9'$ zieht die Lothrechte, welche der Lage des refultirenden Gewichtes aller Einzelgewichte von o bis 9 der Gewichtslinie G entfpricht. Der Schnittpunkt $9''$ auf der Linie $H_1 o_1$ ift Angriffspunkt der refultirenden Preffung. Zieht man im Plane C den Strahl $H_1 9$, fo erhält man diefelbe in diefem Strahle. Führt man im Plane A die Gerade $9'' 9$ parallel zu $H_1 9$, fo fällt der Punkt 9 der Richtung jener Preffung über die Grenzlinie der Lamelle hinaus; folglich würde bei der erften Lamelle noch kein Gleichgewicht gegen Drehen auf der Ebene EF vorhanden fein. Fügt man defshalb noch eine zweite Lamelle X, deren Breite hier gleich der Lamellenbreite von IX genommen ift, dem Widerlager hinzu und verfährt in der angegebenen Weife, fo trifft die durch $10_{,,}$ parallel zu $H' 10$ refultirende Preffung die Fuge EF nahezu an der Grenzlinie der Lamelle X, fo dafs nunmehr beim Gewölbfchub $H_1 o$ eben Gleichgewicht gegen Drehung eintreten würde.

Fügt man endlich noch eine oder mehrere Theilftreifen hinzu und ftellt dem gegebenen Verfahren gemäfs die Schnittpunkte x auf der Fuge EF der zugehörigen refultirenden Preffungen feft, fo gelangt man fchliefslich dahin, die Lage des Punktes x fo zu erhalten, dafs $Ex = \frac{1}{3} EF$ wird.

In der Zeichnung trat diefer Fall ein, nachdem noch die dritte Lamelle XI hinzugefügt war, fo dafs EF die gefuchte Widerlagsftärke ift. Diefelbe beträgt 1,2 m, alfo bei der Spannweite des Gewölbes von 6 m genau $\frac{1}{5}$ diefer Weite.

Sollte die Aufsenfeite des Widerlagers in der Stärke von durchfchnittlich 0,4 m, entfprechend der

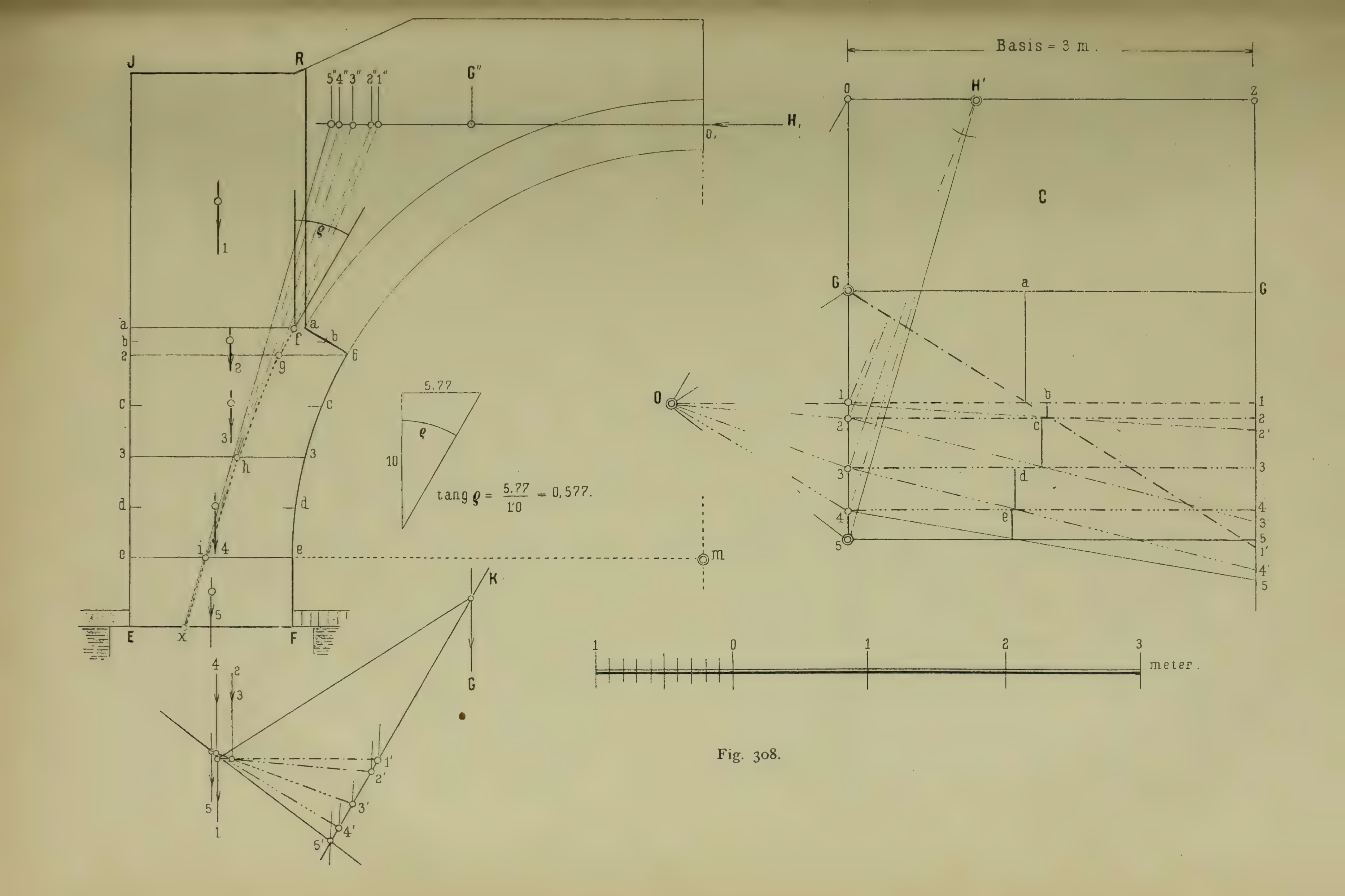


Fig. 308.

Breite des letzten Theilſtreifens, aus Sandſteinquadern vom Eigengewichte $\gamma_{\prime\prime} = 2{,}4$ ausgeführt werden, ſo würde, wenn weder die Gröſse des Geſammtgewichtes *o* bis *11*, noch die Lage des Punktes *x* verändert werden dürfte, die Höhe *Eq* dieſer Quaderbekleidung mit Hilfe des Planes *B* ſich einfach beſtimmen laſſen. Hierin iſt $\delta\alpha$ die Höhe des vollſtändig aus Backſteinmauerwerk hergeſtellten Widerlagers. Trägt man auf der wagrechten Linie $\alpha\beta$ die Strecke $\alpha\beta = 2{,}4$ ab, zieht man hierauf $\delta\beta$, ſo ſchneidet dieſer Strahl die lothrechte Linie γ im Punkte q_1; die durch q_1 parallel zu $\alpha\beta$ geführte Linie giebt auf der Lothrechten $\delta u'$ den Schnittpunkt ε, und man erhält alsdann in $\delta\varepsilon$ die geſuchte Höhe *Eq* der Quaderverkleidung. Das Gewicht dieſes Quaderſtückes iſt gleich dem Gewichte des aus Backſteinmauerwerk beſtehend gedachten Theilſtreifens *XI*; denn es iſt bei gleicher Grundfläche der beiden Körper

$$\frac{\delta\varepsilon}{\delta\alpha} = \frac{\gamma}{\gamma_{\prime\prime}}, \text{ alſo } \delta\alpha\,\gamma = \delta\varepsilon\,\gamma_{\prime\prime},$$

wie es ſein ſoll. Oberhalb *q* entſtände ein Sockelabſatz von der Breite der Lamelle *XI* und danach könnte das Backſteinmauerwerk wieder beginnen.

Das Mauerwerk des Widerlagers wird jedoch in den meiſten Fällen in wagrechten Schichten ausgeführt, und es entſteht dann die Frage, wie ſich bei ſolcher Anordnung die Mittellinie des Druckes im Widerlagskörper geſtaltet.

In Fig. 308 iſt für das bereits ſeiner Stärke nach ermittelte, aus Backſteinmauerwerk beſtehende Widerlager die Mittellinie des Druckes *fghix* für wagrechte Schichten eingezeichnet. Auf der wagrechten Fuge *aa* ruht der Körper *aaRJ*. Sein Gewicht *1* wirkt in der Schwerlinie *1*. Ferner kommt für dieſe Fuge das Gewicht *G* der Gewölbhälfte mit ſeiner Belaſtung und der Gewölbſchub $H_1 o$ in Betracht, welche ſofort von der Tafel bei S. 198 entnommen ſind, ſo daſs, unter Beibehaltung derſelben Verwandlungsbaſis $oz = 3^m$, nun auch *oG* der Strecke *o6*, $H_1 o$ der Strecke $H_1 o$ entſprechend wieder benutzt ſind. Die Gewichtsſtrecke *G1* des bezeichneten Theilſtückes iſt im Plane *C* in bekannter Weiſe ermittelt. Nach der Zeichnung des Hilfs-Seilpolygons mit Benutzung des beliebigen Poles *O* ergiebt ſich auf dem Strahle *K* der Punkt *1'*, durch welchen die Mittelkraft aus *oG* und *G1* zieht. Die Zuſammenſetzung derſelben mit dem durch den Mittelpunkt o_1 der gedachten Scheitelfuge gerichteten wagrechten Gewölbſchube $H_1 o$ erfolgt im Punkte *1''*. Der Strahl *1''f* parallel zu $H_1 1$ des Planes *C* geführt, giebt in *f* einen Punkt der Mittellinie des Druckes im Widerlager.

Ueber der Fuge *26* geſellt ſich dem Gewichte von *aaRJ* noch das Gewicht des Theilſtreifens *26aa* mit der mittleren Breite *bb* hinzu. Der Schwerpunkt deſſelben iſt leicht zu beſtimmen. Im Plane *C* iſt für die Reduction dieſer Breite gemäſs *1b = bb* genommen, *12'* auf der Linie *z* gleich der Höhe *2a* des Streifens abgetragen und durch den Reductionsſtrahl *12'* die Gewichtsſtrecke *bc = 12* erhalten. Im Seilpolygon iſt die weitere Zuſammenſetzung der Gewichte *oG*, *G1* und *12* zu einer durch *2'* der Linie *K* gehenden Mittelkraft bewirkt und dieſe in *2''* mit dem Gewölbſchube $H_1 o$ vereinigt. Die dann ſich ergebende reſultirende Preſſung iſt für die Fuge *26* gleich und parallel $H_1 2$ des Planes *C*. Zieht man *2''g* dem entſprechend parallel $H_1 2$, ſo erhält man in *g* einen Punkt der Mittellinie des Druckes für die Fuge *2b*.

Nach dieſem Verfahren iſt, wie aus der Zeichnung erſichtlich wird, für jede weiter folgende Fuge der zugehörige Punkt der Mittellinie des Druckes, welche als Linienzug *fghix* auftritt, im Widerlager gefunden. Hier ſei noch bemerkt, daſs die Lage des Punktes *x* auf der Fuge *EF* der Grundfläche mit derjenigen auf der Tafel bei S. 198 übereinſtimmen, daſs ferner die Strecke *G5* wieder gleich der Strecke *611* jener Figur gefunden werden muſs, weil an der Geſammtheit des Querſchnittes vom Gewölbe und vom Widerlager keine Aenderung eingetreten iſt.

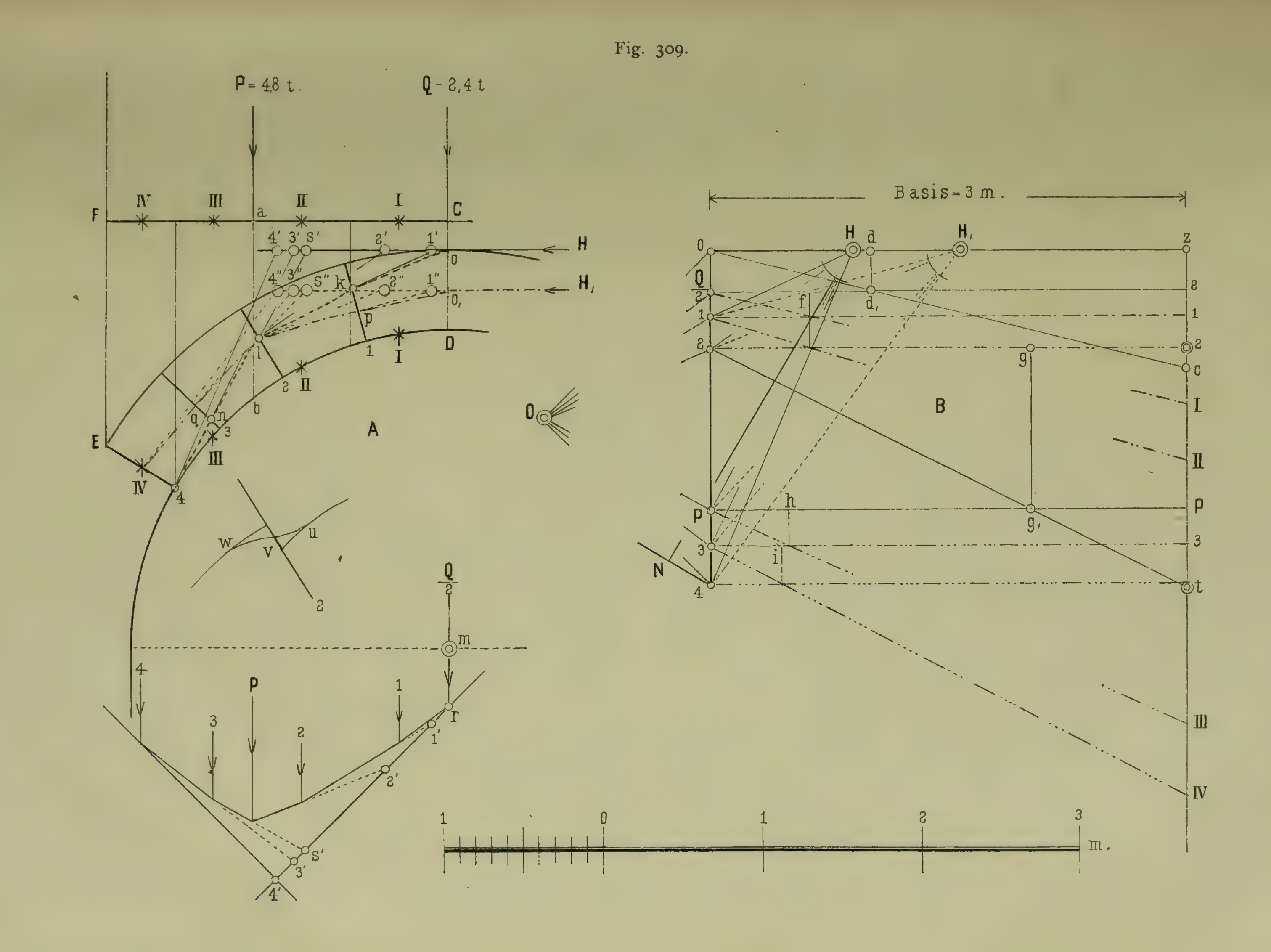
Die gefundene Mittellinie des Druckes verbleibt ganz innerhalb der Fläche des Widerlagers. Die reſultirenden Preſſungen für die einzelnen Fugen ſchlieſsen mit den ihnen zugehörigen Senkrechten einen Winkel ein, welcher, wie bei der Fuge *aa* für die am ſtärkſten geneigte Preſſungslinie *1''f* gezeigt iſt, kleiner bleibt, als der hier zu 30 Grad angenommene Reibungswinkel ρ, wofür $\text{tg}\,\rho = 0{,}577$ iſt, ſo daſs für das Widerlager ſich Gleichgewicht gegen Drehung und gegen Gleiten ergiebt.

144.
Einzellaſten.

In beſonderen Fällen, wenn z. B. die als Gurtbogen auftretenden kürzeren Gewölbe auſser einer ſtetig oder unſtetig vertheilten Belaſtung noch an beſtimmten Stellen gröſsere Einzelgewichte als Belaſtung aufzunehmen haben, iſt ſtets eine ſorgfältige Prüfung der Stabilität dieſer Gewölbe erforderlich und immer die Ermittelung der Mittellinie des Druckes für das Gewölbe nebſt Widerlager angezeigt.

Eine derartige Unterſuchung iſt in Fig. 309 ausgeführt.

Fig. 309.



Das aus Backftein auszuführende Gewölbe ift 4^{m} weit gefpannt und trägt aufser der durch CF begrenzten Ueberlaft noch im Scheitel eine Einzellaft von $Q = 2{,}4$ Tonnen, rechts und links von dem Scheitellothe noch je eine Laft $P = 4{,}8$ Tonnen, fo dafs diefes Gewölbe fymmetrifch geformt und fymmetrifch belaftet ift. Die Gewölbftärke fei zu 2 Steinftärken $= 0{,}51^{m}$ angenommen. Die Unterfuchung ift wieder unter der Annahme einer Gewölbtiefe gleich der Längeneinheit geführt. Da die Einzellaften durch das gleiche Gewicht einer Steinfäule von quadratifcher Grundfläche, deren Seitenlänge beliebig genommen werden könnte, hier aber zu 1^{m} genommen werden foll und einer Höhe x erfetzt werden müffen, fo erhält man, da 1^{cbm} Backfteinmauerwerk $1600^{kg} = 1{,}6^{t}$ wiegt, für die Laft Q fofort

$$x \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1{,}6 = 2{,}4, \quad \text{alfo} \quad x = 1{,}5^{m}$$

und für die Laft P danach

$$x \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1{,}6 = 4{,}8, \quad \text{d. h.} \quad x = 3^{m}.$$

Die Lage von Q und P darf nicht geändert werden, und aus diefem Grunde wird am zweckmäfsigften eine zugehörige Theillinie C, bezw. a durch den Angriffspunkt der Einzellaften gelegt und diefen Theillinien entfprechend auch die zugehörige Gewölbfuge, unter Beibehaltung der Belaftungslinie CF der urfprünglichen, ftetigen oder unftetigen, hier wagrecht abgegrenzten Belaftung, wie früher angegeben, gezogen.

Von der in der gedachten Scheitelfuge Do wirkenden Einzellaft Q kann hier nur die Hälfte, alfo $\frac{1{,}5}{2} = 0{,}75^{m}$, oder, da die Grundfläche der gedachten Steinfäule 1^{m} als vordere Seitenlänge befitzen foll, $0{,}75^{qm}$, bezw. $0{,}75^{cbm}$ in Betracht genommen werden, weil der fymmetrifchen Anordnung halber nur eine Gewölbhälfte zur Unterfuchung zu kommen braucht.

Sind diefe Punkte feft gefetzt, fo erfolgt das weitere Zerlegen der Gewölbe- und Belaftungsfläche $D4EFC$ in beliebig viele, auch beliebig breite Theilftreifen nebft Angabe der ihren Theillinien zukommenden Gewölbfugen, gleichgiltig, ob diefe Fugen mit jenen fpäter bei der Ausführung des Gewölbkörpers zufammenfallen werden oder nicht, und hierauf, ganz wie im Vorhergehenden erörtert, auch die Reduction ihrer Flächen auf eine gewählte Bafis. Hierbei ift nur zu beachten, dafs auch die Gewichte der Einzellaften in richtiger Reihenfolge vor der antretenden Lamelle eingefügt und gleichzeitig auf jene Bafis reducirt werden. So ift das Gewicht $\frac{Q}{2}$ entfprechend $0{,}75^{qm}$ als erfter Beftandtheil in folgender Weife reducirt.

Auf der z-Linie des Planes B ift $zc = 0{,}75^{m}$, auf der Linie oz dagegen $od = 1^{m}$ abgetragen. Der Reductionsftrahl oc liefert die Gewichtsftrecke dd_1 gleich der Strecke o bis $\frac{Q}{2}$. Hierauf find die Gewichtsftrecken für die Lamellen I und II von $\frac{Q}{2}$ bis 1 und von 1 bis 2 beftimmt, und fodann ift die Reduction der Einzellaft $P = 3^{qm}$ entfprechend bewirkt.

Statt hierbei eine Länge von 3^{m} und eine Breite von 1^{m} zu benutzen, ift, um das Auftragen einer grofsen Länge zu vermeiden, welche unter Umftänden nicht mehr auf die Zeichenfläche gebracht werden könnte, eine Länge $2t$ auf der z-Linie gleich $\frac{3}{n}$, hier $= \frac{3}{2} = 1{,}5^{m}$ und auf der Linie 22 eine Breite 2 bis $g = n \cdot 1$ Met., alfo hier, da $n = 2$ gewählt ift, gleich 2^{m} abgefchnitten. Der Reductionsftrahl $2t$ liefert nun ebenfalls die richtige Gewichtsftrecke $gg_1 = 2P$ für die Einzellaft P. Endlich find noch die Theilftreifen III und IV reducirt, und es ift in o bis 4 im Plane B die gefammte Gewichtsftrecke feft gelegt.

Wie für die Tafel bei S. 198 befchrieben, ift nunmehr die Conftruction einer Mittellinie des Druckes $okln4$ für den möglichft kleinften, in o angreifend genommenen Gewölbfchub Ho und ferner eine folche $o_1 plq\, VI$ für einen Gewölbfchub $H_1 o$ ausgeführt, wobei die Endpunkte diefer Mittellinie des Druckes die Halbirungspunkte der Scheitelfuge Do und der Widerlagsfuge $4E$ bilden. In der Fig. 309 treffen die von $2'$ und S' nach der Fuge 2 laufenden Richtungen der Preffungen, abgefehen davon, dafs auch die von o_1 ausgehende Mittellinie des Druckes durch diefen Punkt zieht, ganz nahe im Punkte l zufammen.

Diefes Zufammentreffen ift jedoch häufig nicht der Fall. Die Mittellinie des Druckes bleibt aber vermöge der Prefsbarkeit des Materials ftetig und würde etwa bei der Fuge 2 den im Plane A unterhalb der Fuge 2 angegebenen Verlauf uvw nehmen. Für die Unterfuchung des Widerlagers diefes Gewölbes möge auf die Tafel bei S. 198 u. Fig. 308 verwiefen werden.

Noch erübrigt die Prüfung der Gewölbftärke. Der Gewölbfchub Ho wird nach der Zeichnung gefunden als $Ho = 0{,}9 \cdot 3 = 2{,}7^{qm}$, während der Normaldruck für die Widerlagsfuge $4E$

$$HN = 2{,}28 \cdot 3 = 6{,}84^{qm}$$

wird. Nach der Tabelle auf S. 202 mufs alfo das Gewölbe durchgängig 2 Stein ftark genommen werden, da bei $1^1/_2$ Stein Stärke H nur $2{,}03$ qm, N nur $6{,}09$ qm ift. Da die Mittellinie des Druckes für Ho ganz in der Gewölbfläche verbleibt, auch in den Fugen der Reibungswinkel nicht überfchritten wird, fo ift das entworfene und unterfuchte Gewölbe ftabil.

145. Empirifche Regeln für die Widerlagsftärke.

Damit für die Widerlagsftärke von vornherein ein ungefährer Werth Berückfichtigung finden kann, benutzt man wohl einige empirifche Regeln, und zwar nimmt man bei Tonnengewölben, wobei die Oberkante der Widerlager in einer durch den höchften Punkt des Gewölbrückens gelegten wagrechten Ebene begrenzt ift, die Stärke der Widerlager:

bei einer Halbkreisbogenlinie zu $\frac{1}{5}$ der Spannweite;

bei gedrückten Bogenlinien (Ellipfen, Korbbogen) mit bis $\frac{1}{4}$ Pfeilverhältnifs zu $\frac{1}{4}$ der Spannweite;

bei gedrückten Bogenlinien mit weniger als $\frac{1}{4}$ Pfeilverhältnifs zu $\frac{2}{7}$ der Spannweite, und

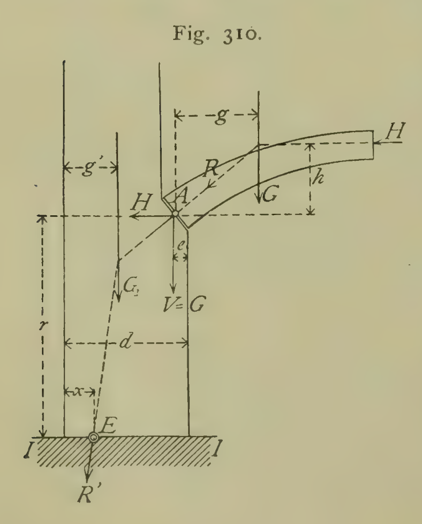
bei überhöhten Bogenlinien zu $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{7}$ der Spannweite.

Ift dabei aber die Höhe der Widerlager von ihrer Aufftandfläche bis zu der erwähnten Ebene gröfser als $2{,}5$ m, fo werden die angegebenen Abmeffungen etwa $1\frac{1}{6}$- bis $1\frac{1}{8}$-mal fo ftark genommen.

Die gegebenen Werthe follen aber nur als Näherungswerthe angefehen werden; fie fchliefsen alfo die bezeichnete Stabilitätsunterfuchung des Widerlagskörpers nicht aus.

Bei der Prüfung der Stabilität des Widerlagers durch Rechnung ift im oben gedachten Halbbande (2. Aufl., Art. 277, S. 262) diefes »Handbuches« das Erforderliche gegeben, und es ift mit Bezug auf die in Fig. 310 eingeführten Bezeichnungen der Abftand x des Angriffspunktes E der Mittelkraft aus dem Gewölbfchube H, dem Gewichte G des Gewölbes nebft feiner Belaftung und dem Gewichte G_1 des Widerlagskörpers von der äufseren Kante am Fufse der Widerlagsmauer berechnet zu

Fig. 310.



$$x = \frac{G_1 g' + G(d - e) - Hr}{G + G_1}.$$

Ift demnach zuvor die Stärke d gewählt, fo läfft fich G_1 als abhängig von d ermitteln und da dann auch bei berechnetem g_1, H und G, fo wie bei den gegebenen Werthen von e und r die Gröfse x zu finden ift, fo kann man prüfen, ob die gewählte Stärke d einen Werth für $x = \frac{1}{3} d$ liefert, oder ob ein neuer Werth von d, welcher nach der erften Rechnung fich jedoch unfchwer angeben läfft, eingeführt werden mufs oder nicht.

146. Einhüftige Gewölbe.

Eine befondere Betrachtung erfordern noch die fog. einhüftigen Gewölbe. Ein einhüftiges Gewölbe ift, in feinem Stirnfchnitte genommen, ein fog. unfymmetrifches Gewölbe, da daffelbe in Bezug auf fein Scheitelpunktsloth zwei von einander verfchiedene, nicht congruente Stücke der ganzen Stirnfläche befitzt. Diefe beiden

Stücke erhalten auch meiſtens von einander verſchieden groſse Belaſtungen, ſo daſs neben den unſymmetriſchen Gewölbebogen noch unſymmetriſche Belaſtung vorhanden iſt. Da vielfach auſser den eigentlichen einhüftigen Gewölben, welche z. B. zur Unterſtützung von Treppenläufen dienen, derartige Gewölbe von geringer Axenlänge als ſog. Strebebogen zur Sicherung des Widerlagers anderer Gewölbe, namentlich der gothiſchen Kreuzgewölbe, benutzt werden, ſo iſt die Stabilitäts-Unterſuchung der einhüftigen Gewölbe, bezw. der Strebebogen von Bedeutung. In einigen Punkten weicht, wie aus dem in Theil I, Band 1, zweite Hälfte (Art. 476, S. 446[167]) Geſagten zu entnehmen iſt, dieſe Unterſuchung von derjenigen des geraden Tonnengewölbes ab, und es ſoll deſshalb eine graphoſtatiſche Stabilitäts-Unterſuchung eines einhüftigen Gewölbes gegeben werden.

Als Beiſpiel iſt ein einhüftiges, aus Backſteinmaterial herzuſtellendes Gewölbe gewählt, welches zum Tragen eines Treppenarmes dient. Daſſelbe iſt in Fig. 311 dargeſtellt. Die Wölblinie iſt ein um *m* beſchriebener Kreisbogen *ab*; die Gewölbſtärke iſt gleichmäſsig zu 0,38 m angenommen. Der Treppenlauf iſt eingetragen, und gleichzeitig iſt unter Berückſichtigung der zufälligen Belaſtung und unter Zurückführen des Stufenmaterials und der erwähnten Belaſtung auf das Eigengewicht des Wölbmaterials die Belaſtungslinie *CD* eingezeichnet.

Streng genommen würde dieſe Linie ſtaffelförmig auftreten, wenn für jede Stufe eine gleichförmig vertheilte Ueberlaſt für die Flächeneinheit gelten ſoll. In Rückſicht auf Stöſse, welche bei der Benutzung der Treppe eintreten können, iſt hier jedoch dieſe Ueberlaſt parallel mit der Steigungslinie der Treppe angenommen und hierdurch noch als etwas ungünſtiger für das Gewölbe in Betracht gezogen.

Die Belaſtungsfläche *abCD* iſt in ſieben Theilſtreifen zerlegt, wovon der Streifen *I* der ſchmalere iſt, während die Streifen *II* bis *VII* eine gleich groſse Breite aufweiſen.

Die Tiefe des Gewölbes iſt gleich der Längeneinheit angenommen. Den Theillinien entſprechend ſind die Fugenlinien x, z, y u. ſ. f. in der eigentlichen Gewölbfläche gezogen.

In bekannter Weiſe (vergl. Art. 143, S. 201) iſt zur Ermittelung der Flächen, bezw. der Gewichte der Theile eine Reduction der Flächen derſelben auf eine Baſis gleich 2 m ausgeführt, ſo daſs im Gewichtsplane die Strecken *o 1*, *1 2* u. ſ. f. die Gröſsen der zugehörigen Flächen ergeben, ſobald die ihnen zukommende Maſszahl mit der Maſszahl 2 der Baſis multiplicirt wird. Die Strecke *o 7* miſſt 2,8 m; folglich beſitzt die Belaſtungsfläche $2{,}8 \cdot 2 = 5{,}6$ qm, und das in Frage kommende Geſammtgewicht des Gewölbekörpers, einſchl. der Belaſtung beträgt, bei der Gewölbetiefe von 1 m und dem Gewicht von 1600 kg, für 1 cbm Backſteinmaterial $5{,}6 \cdot 1 \cdot 1600 = 8960$ kg. Dieſer Werth entſpricht der Mittelkraft *R*.

Die Einzelgewichte wirken, wie früher ſchon erörtert, in den Mittellinien ihrer Theilſtreifen, welche durch kleine Sterne in der Zeichnung angedeutet ſind.

Für die Gewichte iſt unter Benutzung des Poles *O* das Seilpolygon *G* gezeichnet. Die lothrecht gerichtete Mittelkraft *R* geht durch den Schnittpunkt *d* der äuſserſten Seilſtrahlen *cd* und *ed*.

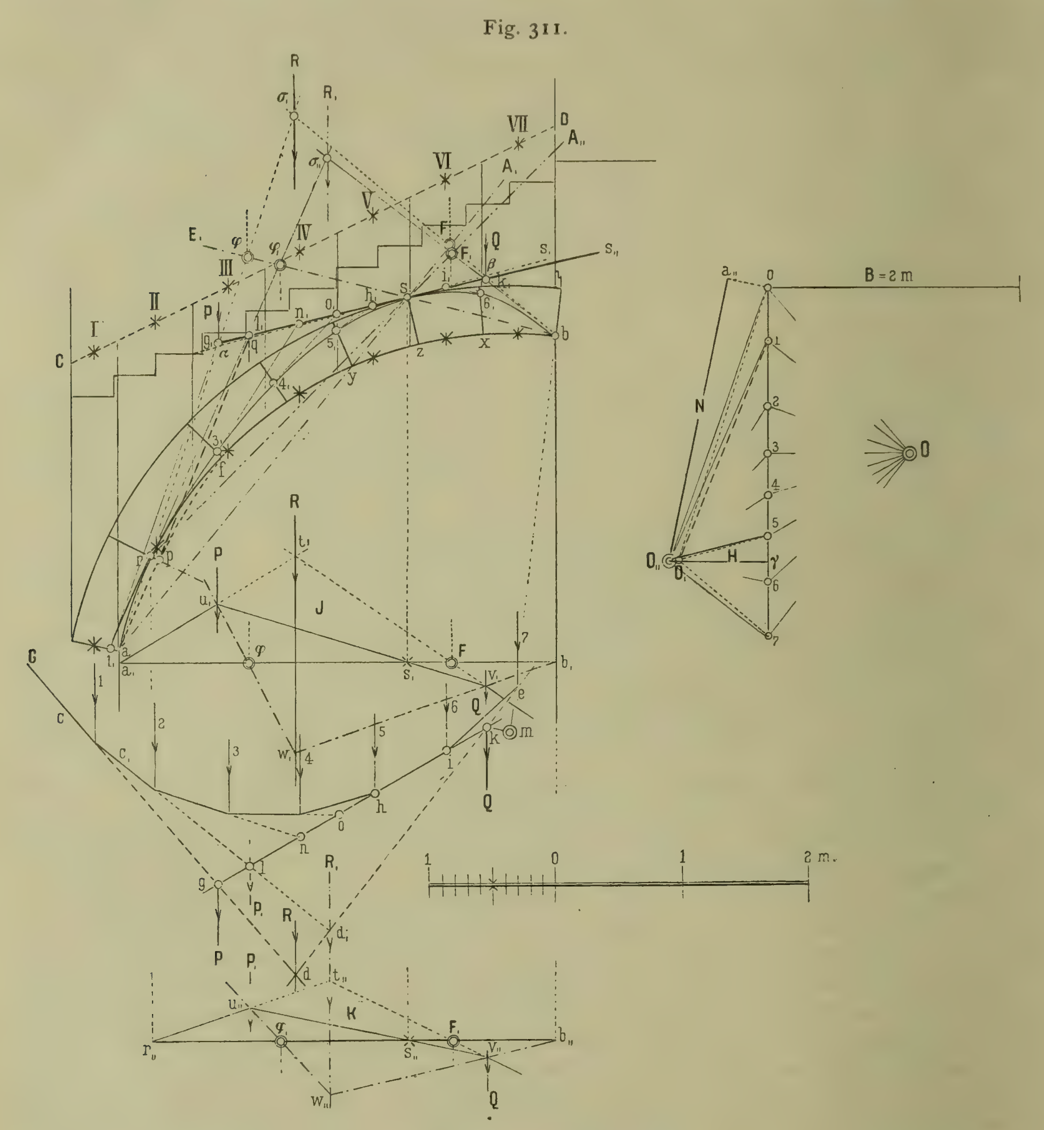
Bei einem unſymmetriſch geformten, bezw. unſymmetriſch belaſteten Gewölbe kann bei der Beſtimmung der Mittellinie des Druckes von vornherein eine Fuge, in welcher ein wagrechter Gewölbſchub wirkſam wird, nicht ohne weitere Rechnung, wie ſolches bei ſymmetriſchen Gewölben mit ſymmetriſcher Belaſtung möglich iſt, angenommen werden; vielmehr muſs für die hier auftretende Gewölbform, einer allgemeinen Eigenſchaft der Mittellinien des Druckes gemäſs, welche einem möglichſt kleinſten wagrechten Gewölbſchube angehört, eine Mittellinie des Druckes aufgeſucht werden, welche bei einem ſtabilen Gewölbe innerhalb der Gewölbfläche verbleibt und zwei Punkte mit der inneren Wölblinie und einen Punkt mit der Rückenlinie gemeinſchaftlich hat. Dieſe drei Punkte ſind vorweg noch unbekannt. Wählt man jedoch einſtweilen beliebig, z. B. die Punkte *a* und *b* auf der inneren Wölblinie, den dazwiſchen liegenden Punkt *s* auf der Rückenlinie, ſo läſſt ſich eine Mittellinie des Druckes als Probelinie ermitteln, welche dieſe drei Punkte enthält, im Allgemeinen aber noch nicht innerhalb der Gewölbfläche verbleibt. Aus ihrem Verlaufe erkennt man aber dort, wo dieſelbe ſich am weiteſten von den Gewölblinien entfernt, diejenigen Punkte, durch welche eine neu gezeichnete Mittellinie des Druckes gehen müſſte, wenn dieſelbe in der Gewölbfläche liegen ſoll. In den meiſten Fällen ſind nur wenige derartige Unterſuchungen erforderlich, die auſserdem unter Anwendung der Verfahren der graphiſchen Statik ziemlich einfach ſind.

---

[167]) 2. Aufl.: Art. 267, S. 253.

Um eine vorläufige Mittellinie des Druckes zu zeichnen, welche durch die gewählten 3 Punkte a, s, b geht, die zugleich den im Gewölbfchnitte für die Theillinien eingezeichneten Fugenlinien angehören, hat man zu beachten, dafs von der Fuge sz, bezw. von der ihr zukommenden Theillinie aus für den Gewölbkörper von s bis a die Gewichtsfumme gleich der Strecke $o5$, von s bis b die Gewichtsfumme gleich der Strecke 57 des Gewichtsplanes in Frage kommt. Die Lage diefer refultirenden Gewichte ift im Seilpolygon G zu ermitteln, indem für die durch die Fuge sz von einander gefchiedenen Gewichte

Fig. 311.



durch Erweitern des gemeinfchaftlichen Seilftrahles hi die Schnittpunkte g und k mit den äufserften Seilftrahlen c und e beftimmt werden. Durch g zieht die lothrechte Refultirende $P = o5$, während durch k die Lothrechte $Q = 57$ geht.

Da aufserdem die Lage der Mittelkraft R von P und Q bekannt ift, fo läfft fich für die Gewichte P und Q ein Seilpolygon b, β, s, α, a mit den äufserften Strahlen $b\sigma_1$ und $a\sigma_1$ im Gewölbeplane feft legen, welches durch die 3 Punkte a, s, b geht, und worin die in $\beta\alpha$, bezw. $\alpha\beta$ wirkenden Seilfpannungen als in s thätige Gewölbfchübe auftreten. Zur Ermittelung diefes Seilpolygons ift ein bekannter Satz der graphifchen Statik benutzt, welcher fagt:

Wenn fich die drei Ecken α, σ_1, β, welche einem Seilpolygon $a\alpha\beta b$ mit den fortgeführten beiden äufserften Strahlen $\alpha\sigma_1$ und $\beta\sigma_1$ angehören, auf drei gegebenen Strahlen P, R, Q bewegen, wenn ferner

zwei Seiten des Seilpolygons, z. B. $a\sigma_1$ und $\alpha\beta$, fich um zwei fefte Punkte a, bezw. s drehen, fo dreht fich auch die dritte Seite $\beta\sigma_1$ ftets um einen und denfelben feften Punkt F, den fog. Fixpunkt, welcher immer auf der durch die beiden feften Punkte a und s geführten geraden Linie, der fog. Polaraxe liegt. Zur Beftimmung jenes Fixpunktes F und auch des zur weiteren genauen Durchführung der Zeichnung zu benutzenden zweiten Fixpunktes φ einer zweiten Polaraxe E_1, braucht man nur, um die zeichnerifchen Darftellungen dafür im Gewölbeplane ganz zu vermeiden, bei der lothrechten Richtung von P, R und Q aus leicht erfichtlichen Gründen die Projectionen der Fixpunkte F und φ zu ermitteln und diefe auf die Polaraxe A_1 (Gerade durch a und s) für F, bezw. auf die Polaraxe E_1 (Gerade durch b und s) für φ unmittelbar zu übertragen. Solches ift im Hilfsplane J gefchehen. Auf der beliebig, hier wagrecht gezogenen Geraden $a_1 b_1$ find gemäfs der lothrechten Richtung von P, R und Q durch lothrechtes Projiciren die den Punkten a, s, b entfprechenden Punkte a_1, s_1, b_1 feft gelegt. Die Gerade $a_1 b_1$ ift die Projection der Polaraxe A_1, und eben fo ift $b_1 a_1$ die Projection der Polaraxe E_1.

Zieht man durch a_1 einen fonft beliebigen, die Geraden P und R in u_1, bezw. t_1 fchneidenden Strahl, legt hierauf, durch u_1 und s_1 beftimmt, eine Gerade feft, welche die Linie Q in v_1 fchneidet, und fügt man zuletzt den Strahl $v_1 t_1$ ein, fo ift der Schnittpunkt F derfelben mit $a_1 b_1$ die Projection von dem auf der Polaraxe A_1 liegenden Fixpunkte. Um den Fixpunkt φ zu erhalten, ift von b_1 ausgehend dasfelbe Verfahren zu beobachten; man kann aber unter Benutzung der fchon im Plane J vorhandenen Strahlen die Gerade $b_1 v_1$ bis w_1 auf R ziehen, die Gerade $v_1 u_1$ unberührt laffen und w_1 mit u_1 verbinden, um im Schnittpunkte φ diefes Strahles mit der Geraden $b_1 a_1$ die Projection des Fixpunktes der Polaraxe E zu ermitteln.

Ueberträgt man im Gewölbeplane den Punkt F nach F auf A_1 und den Punkt φ nach φ auf E_1, fo find $a\varphi$ und bF die Richtungen der äufserften Strahlen des durch as und b gehenden Seilpolygons. Sie treffen die Richtungen von P und Q in den Punkten α, bezw. β, und die durch die Punkte α und β ziehende Gerade s_1, welche nothwendig auch durch s gehen mufs, ift die dritte Seilfeite des nunmehr beftimmten Seilpolygons für die Punkte a, s und b. Als Probe für die Richtigkeit dient noch der Umftand, dafs die Strahlen $a\alpha$, bezw. $b\beta$, gehörig erweitert, fich in einem gemeinfchaftlichen Punkte σ_1 auf der Linie der Mittelkraft R fchneiden müffen.

In der Linie s_1 wirkt der Gewölbfchub für den Gewölbetheil za in der Richtung $s\alpha$, für den Gewölbetheil zb in der Richtung $s\beta$. Die Gröfse deffelben erhält man im Gewichtsplane fofort, wenn man durch den Punkt o eine Parallele oO_1 zu $a\varphi$ und durch den Punkt 7 eine Parallele $7O_1$ zu bF zieht; beide treffen fich im Punkte O_1, und die Länge des Strahles $O_1 5$ liefert, da 5 der Endpunkt der Gewichtsftrecke P und der Anfangspunkt der Gewichtsftrecke Q ift, die gefuchte Gröfse des Gewölbfchubes. Zur Prüfung der Zeichnung dient, dafs $O_1 5$ parallel mit der Geraden $\alpha\beta$ fein mufs.

Um nun für diefen Gewölbefchub eine vorläufige Mittellinie des Druckes zu zeichnen, verfährt man in folgender Weife. Das Gewicht 5, welches von s aus bis zur Fuge y in Frage kommt, greift auf der Linie s_1 in h_1 an; zieht man im Gewichtsplane die Linie $O_1 4$ und hierzu eine Parallele durch h_1, bis die Fuge y getroffen wird, fo ergiebt fich hier ein Punkt jener Drucklinie. So wirken bis zur Fuge r die Gewichte $2, 3, 4$ und 5. Die Lage des refultirenden Gewichtes P_1 gleich der Strecke 15 ergiebt fich durch den Schnittpunkt l der Seilftrahlen c_1 und hi des Seilpolygones G; bringt man den Angriffspunkt von P_1 entfprechend l nach q auf s_1, zieht man $O_1 1$ und hierzu eine Parallele qp, fo ift p ein Punkt der gefuchten Probelinie. Führt man die Zeichnung derfelben nach diefen Angaben für das ganze Gewölbe durch, was in Fig. 311 nicht weiter kenntlich gemacht ift, fo findet man, dafs diefe Probelinie in der Gewölbfläche szb verbleibt, die Gewölbfläche sza jedoch in dem Stücke fpa verläfft, dafs mithin diefe Drucklinie noch nicht für die Stabilitäts-Unterfuchung des Gewölbes mafsgebend wird. Der am weiteften von der Wölblinie entfernte Punkt p diefer Probelinie giebt ein Erkennungszeichen für die Lage einer gefährlichen Stelle (Bruchfuge) im Gewölbe an. Der dem Punkte p zugehörige Punkt diefer Bruchfuge ift in r bekannt geworden. Die Punkte s und b bleiben unverändert, weil von s bis b die Probelinie in der Fläche bleibt.

Ermittelt man nunmehr ein Seilpolygon, welches durch die Punkte r, s und b für die Gewichte von s bis r und von s bis b geht, fo weifs man zunächft, dafs das refultirende Gewicht P_1 des Stückes von s bis zur Fuge r gleich 15 ift und lothrecht durch l zieht, dafs ferner das refultirende Gewicht des Stückes von s bis zur Fuge b wiederum gleich $Q = 57$ ift und lothrecht durch k zieht und dafs endlich für das bezeichnete Seilpolygon die durch r und s geführte Gerade $A_{,,}$ eine Polaraxe wird, während die zweite Polaraxe im vorliegenden Falle als der durch b und s gelegte Strahl E_1 verbleibt.

Ermittelt man im Hilfsplane K in der früher angegebenen und aus der Zeichnung näher erfichtlichen Weife die Projectionen der Fixpunkte F_1 und φ_1 und überträgt man diefelben nach F_1 auf die

Polaraxe $A_{,,}$, bezw. nach φ_1 für die Polaraxe E_1, fo find $r\varphi_1$ und bF_1 die äufserften Strahlen des zu berückfichtigenden Seilpolygons. Man kann fchon hiernach bei genauer Zeichnung, unbekümmert um näheres Feftlegen des Seilpolygons, ohne Weiteres die eindeutige Beftimmung des jetzt fich geltend machenden Gewölbfchubes vornehmen.

Zieht man, da $P_1 = 15$ und $Q = 57$ ift, durch 1 im Gewichtsplane eine Linie $1\,O_{,,}$ parallel zu $r\varphi_1$ und ferner hier durch 7 einen Strahl $7\,O_{,,}$ parallel zu bF_1, fo ergiebt fich der gemeinfchaftliche Schnittpunkt $O_{,,}$ diefer Linien. Zieht man $O_{,,}5$, fo ergiebt diefer Strahl die Gröfse des neuen Gewölbfchubes und zugleich die Neigung deffelben zur Lothrechten an. Führt man durch s im Gewölbeplane eine Gerade $s_{,,}$ parallel zu $O_{,,}5$, fo ift hiermit die Lage des Gewölbfchubes gegeben. Als Probe für die Richtigkeit der Zeichnung dient, dafs der Punkt l_1, als Schnittpunkt der Lothrechten P_1 mit dem Strahle $r\varphi_1$, der Punkt k_1, als Schnittpunkt der Richtung Q mit der Linie bF_1, und der Punkt s Elemente von einer und derfelben Geraden $s_{,,}$ fein müffen; dafs ferner auch die Strahlen $r\varphi_1$ und bF_1, gehörig erweitert, fich auf der Richtungslinie der durch d_1 des Seilpolygons G gehenden Refultirenden R_1 von P_1 und Q in einem gemeinfchaftlichen Punkte $\sigma_{,,}$ fchneiden.

In der Geraden $s_{,,}$ wirkt in der Richtung sg_1 der Gewölbfchub $5\,O_{,,}$, in der Richtung sk_1 der Gewölbfchub $O_{,,}5$. Setzt man den Gewölbfchub für die beiden Theile links und rechts von der Fuge sz unter Benutzung der aus dem Seilpolygon auf $s_{,,}$ übertragenen Angriffspunkte h entfprechend h_1, o für o_1 u. f. f. mit den bis auf die einzelnen Fugen kommenden refultirenden Gewichten zufammen, fo erhält man, wenn z. B. $h_1 5_1$ parallel $O_{,,}4$, $o_1 4_1$ parallel $O_{,,}3$ u. f. f. des Gewichtsplanes gezogen wird, in 5_1, 4_1 u. f. f. Punkte der Mittellinie des Druckes in der Fläche sza und eben fo, wenn i_1 durch i, k_1 durch k auf $s_{,,}$ übertragen ift, durch Ziehen der Strahlen $i_1 6_1$ parallel $O_{,,}6$, $k_1 b$ parallel $O_{,,}7$ in 6_1, b Punkte der Drucklinie in der Fläche szb.

Die gezeichnete Mittellinie des Druckes $1_1 r 3_1 4_1 5_1 s 6_1 b$ bleibt vollftändig in der Gewölbfläche, hat mit der inneren Wölblinie nur die beiden Punkte r und b und mit der Rückenlinie nur den einen Punkt s gemein, ift alfo eine Drucklinie mit dem möglichft kleinften Horizontalfchube. Derfelbe ift gleich der wagrechten Seitenkraft von $o_{,,}5$, d. h. gleich $H = O_{,,}\gamma$ im Gewichtsplane.

Der Werth von $H\gamma$ beftimmt fich durch Meffung zu $0{,}8$ m. Da die Bafiszahl $B = 2$ m ift, fo wird $H = 0{,}8 \cdot 2 = 1{,}6$ qm, bezw. auch $= 1{,}6$ cbm. Diefer Werth liegt nach der Tabelle auf S. 202 zwifchen der Gewölbftärke $d = 1$ Stein und $d = 1\frac{1}{2}$ Stein, fo dafs für die Ausführung des unterfuchten Gewölbes die Stärke von $1\frac{1}{2}$ Stein zu nehmen ift. Der gröfste Fugendruck entfteht für die Kämpferfuge a als Strecke $o\,O_{,,}$. Zieht man $o\,a_{,,}$ parallel der Fuge a und beftimmt man in N die normale Seitenkraft des Fugendruckes, fo mifft $O_{,,}a_{,,}$ nach dem Zeichenmafsftabe $2{,}28$ m; mithin ift der gröfste Normaldruck durch die Zahl $2{,}28 \cdot 2 = 4{,}56$ Quadr.- bezw. Cub.-Met. beftimmt. Nach derfelben Tabelle würde d auch hierfür die Stärke von $1\frac{1}{2}$ Stein zuzuweifen fein, fo dafs die Gewölbftärke überall gleich grofs bleiben kann.

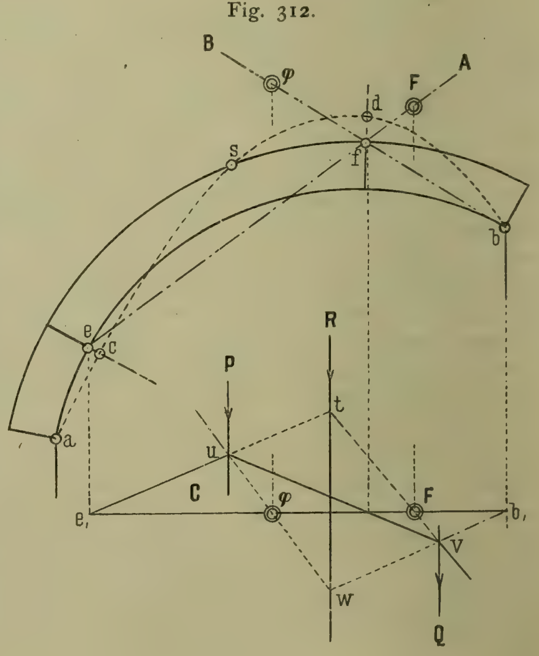


Fig. 312.

In vielen Fällen zeigt fich bei der Stabilitäts-Unterfuchung einhüftiger Gewölbe, dafs fich für die drei zuerft gewählten Punkte a, s, b eine Probelinie herausftellt, welche, wie in Fig. 312 angegeben, die Gewölbfläche mehrfach, häufig einmal unterhalb, ein zweites Mal oberhalb diefer Fläche verläfft. Dann werden durch die am weiteften abftehenden Punkte c und d diefer Linie von der inneren, bezw. äufseren Wölblinie Bruchfugen gekennzeichnet, deren Grenzpunkte e, bezw. f in Gemeinfchaft mit einem unveränderten Punkte b nunmehr an die Stelle der zuerft angenommenen drei Punkte zu treten haben. Die Polaraxen werden die durch e und f, fo wie durch b und f geführten Strahlen A, bezw. B.

Die diefen Polaraxen angehörigen Fixpunkte F und φ werden in der Hilfsfigur C nach dem mitgetheilten Verfahren unter Anwendung der Gewichte P für den Theil fe, und Q für den Theil fb

nebst ihrer Mittelkraft R aufgesucht, und dann wird die neue, durch b, f und e gehende Drucklinie in der vorhin beschriebenen Weise gezeichnet. Bei einem überhaupt stabilen Gewölbe wird man bald zum Abschluss derartiger Untersuchungen gelangen.

Ist die Wölblinie eines einhüftigen Gewölbes kein Kreisbogen, sondern irgend eine der in Art. 135 (S. 175) angegebenen Curven, so erfährt die Stabilitäts-Untersuchung in ihren Grundlagen keine Aenderung.

Noch möge bemerkt werden, dass auch bei geraden Tonnengewölben mit unsymmetrischer Belastung das Verfahren der Ermittelung der Mittellinie des Druckes genau der eben behandelten Untersuchungsart eines einhüftigen Gewölbes entspricht. Selbst wenn einhüftige Gewölbe ausser lothrecht wirkenden Gewichten noch durch zur Wagrechten geneigt gerichtete Kräfte, wie bei Strebebogen der Kreuzgewölbe, die auf ihrer Rückenfläche z. B. noch vom Winddruck getroffen, also dadurch mit beansprucht werden können und wovon später noch das Nöthige gesagt werden wird, bleibt das Wesen des Verfahrens dasselbe.

147.
Tonnengewölbe von verschiedenen Spannweiten.

Schliesslich ist noch eines für die Praxis wichtigen Falles zu gedenken, bei welchem Tonnengewölbe von verschiedener Spannweite und von verschiedener Belastung sich gegen ein gemeinschaftliches Widerlager setzen und dieses durch ihre resultirenden Kämpferdrücke beanspruchen, welche nach Lage, Grösse und Richtung von einander verschieden sind. Es handelt sich deshalb hier noch um die statische Untersuchung derartiger Gewölbanlagen, besonders des Widerlagers, wofür Fig. 313 in Benutzung genommen werden soll.

Die beiden ungleich weiten, auch ungleich belasteten geraden Tonnengewölbe G und G_1, deren Belastung, bei jedem Gewölbe für sich betrachtet, eine zu ihrem Scheitellothe L, bezw. L_1 gleichmässig auftreten möge, stützen sich gegen ein und dasselbe Widerlager VI.

Da jedes Gewölbe für sich ein symmetrisches Gewölbe mit symmetrischer Belastung in Bezug auf das Scheitelloth bildet, so wirkt in einer gedachten Scheitelfuge jedes Gewölbkörpers G, bezw. G_1 ein wagrecht gerichteter Gewölbeschub. Aus diesem Grunde wurde nur je eine Hälfte der Gewölbe, wofür die Tiefe gleich der Längeneinheit ist, dargestellt.

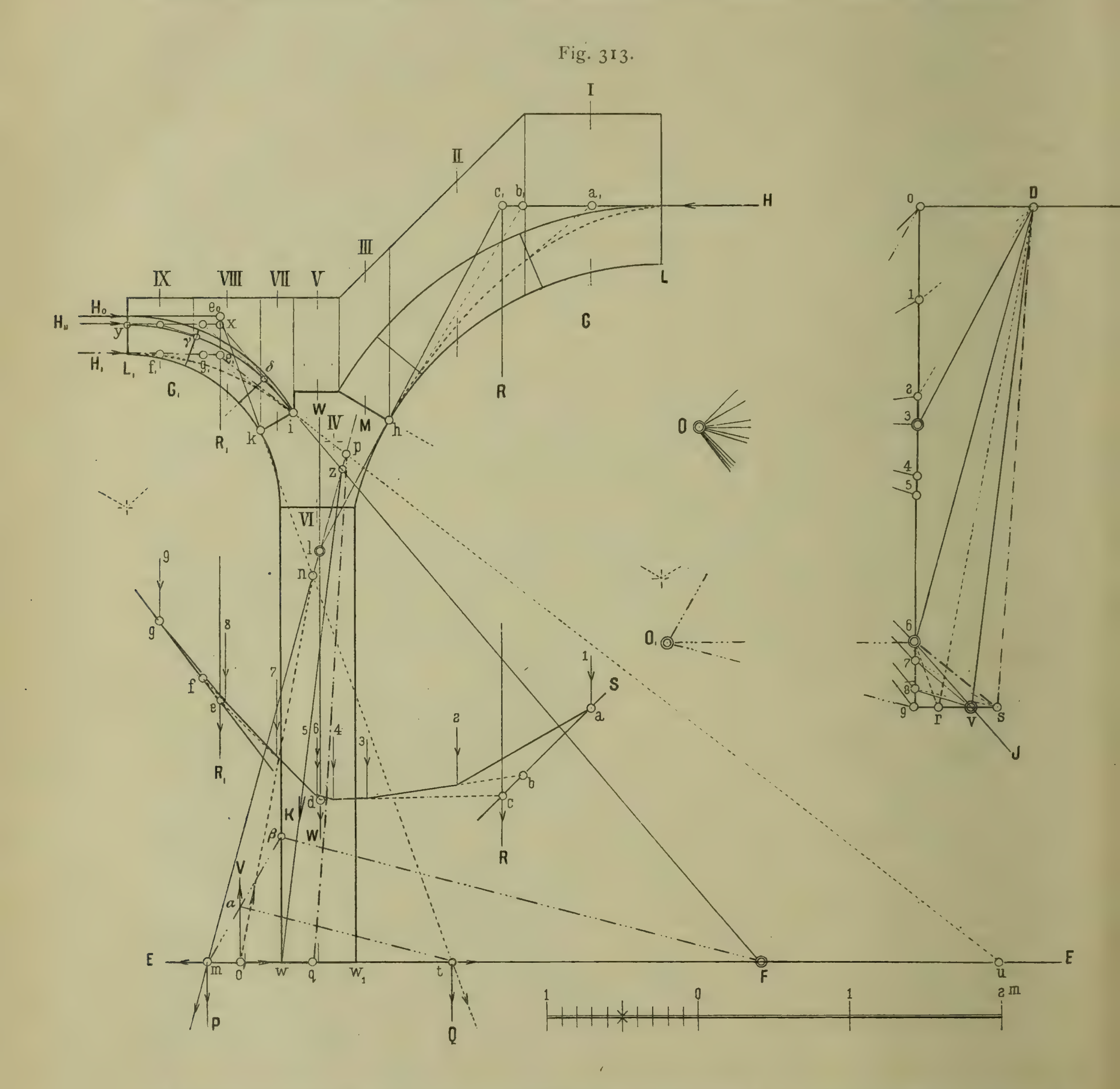
In bekannter Weise ist, nachdem die Flächen der sämmtlichen Theilstreifen auf eine Basis $oB = 1{,}5$ m reducirt wurden, für das grössere und stärker belastete Gewölbe G eine Mittellinie des Druckes für den möglichst kleinsten Gewölbeschub H ermittelt, welche dem gemäss durch den höchsten Punkt der Scheitelfuge und den tiefsten Punkt h einer unter 60 Grad geneigten Bruchfuge geht. Diese Bruchfuge ist hier zugleich Kämpferfuge. Wäre dies nicht der Fall, so müsste die Bruchfuge zuvor, wie bei Fig. 312 angegeben ist, bestimmt werden. Dasselbe gilt auch für das kleine Gewölbe G_1.

Die für G gezeichnete Mittellinie des Druckes verbleibt ganz innerhalb der Gewölbfläche. Der zugehörige Gewölbschub H ist im Gewichtsplane als Do dargestellt. Aus diesem Gewölbschube und dem Gewichte $o3$ entspringt der durch $c_1 h$ der Lage nach bestimmte Kämpferdruck von der Grösse $D3$. Der Widerlagskörper VI nebst dem darauf ruhenden Gewölbanfänger IV und seiner Uebermauerung V besitzt ein Gewicht gleich der Strecke 36 im Gewichtsplane. Dieses resultirende Gewicht wirkt in der Lothrechten W, welche mit Hilfe des Seilpolygons S ihrer Lage nach, als durch d gehend, gefunden wird. Mit dem Gewichte 36 lässt sich der Kämpferdruck $D3$ sofort zu einer Hauptmittelkraft $D6$ zusammensetzen. Ihre Lage im Gewölbplane erhält man, indem die Parallele M zu $D6$ durch den Schnittpunkt l der gehörig erweiterten Linie $c_1 h$ mit der Linie W gezogen wird. Die Mittelkraft $D6$, welche in dieser Hauptlinie M wirkt, trifft die Ebene EE, worin die als fest angenommene Fussfläche des Widerlagskörpers enthalten ist, in einem Punkte m ausserhalb der durch w gehenden Seitenkante der rechteckigen Grundfläche des Stützkörpers VI. Hierdurch zeigt sich, dass der Gewölbschub H des grossen Gewölbes, wenn dasselbe allein ausgeführt werden sollte, den Stützkörper um die durch w gehende Kante drehen würde und dass kein Gleichgewicht gegen Drehung stattfände. Um zunächst ein solches Gleichgewicht herbeizuführen, muss das kleine Gewölbe einen Gegendruck liefern, welcher mindestens die Grösse und Lage annehmen muss, dass die Mittelkraft $D6$, im Strahle M angreifend, mit diesem noch völlig unbekannten Gegendruck des Gewölbes G_1 zusammengesetzt, eine neue Mittelkraft giebt, welche so weit zurückgedrängt wird, dass dieselbe wenigstens durch den Punkt w der Drehkante des Widerlagers geht, um damit einen Grenzzustand des Gleichgewichtes gegen Drehen in der Voraussetzung herbeizuführen, dass die von $D6$ und jenem unbekannten Gegendrucke im Widerlagskörper abhängige Mittellinie des Druckes ganz in der lothrechten Schnittfläche dieses Körpers bleibt. Von einer Gefahr hinsichtlich des Gleitens in den wagrechten Lagerfugenflächen dieses Körpers möge keine Rede sein.

Um für den erwähnten Gegendruck des kleinen Gewölbes zunächst Grenzwerthe zu ermitteln, ist

zu beachten, dafs, wenn diefes Gewölbe für fich allein beftände, der Kämpferdruck deffelben einem möglichft kleinen Gewölbfchube H_0 angehört. Derfelbe Schub H_0 erzeugt alsdann eine fog. Minimal-Drucklinie, welche durch den höchften Punkt der Rückenlinie im Scheitellothe L_1 und den tiefften Punkt k der Kämpfer-, hier zugleich Bruchfuge zu führen ift. Diefer hier auch wagrechte Horizontalfchub ift nach bekannter Methode als $H_0 = 9r$ im Gewichtsplane gefunden. Die Gröfse des Kämpferdruckes ergiebt fich als $6r$. Derfelbe wirkt in der durch $e_0 k$ gezogenen Geraden. Setzt man diefen Kämpferdruck mit der bekannten, in der Hauptlinie M wirkenden Mittelkraft $D6$ zufammen, fo entfteht die Mittelkraft Dr.

Fig. 313.



Sie geht im Gewölbplane durch den in M enthaltenen Schnittpunkt n mit dem fortgeführten Strahle $e_0 k$ des Kämpferdruckes $6r$. Zeichnet man no parallel Dr, fo ift die Lage diefer Schlufsmittelkraft gefunden. Auch diefe trifft die Ebene EE der Fufsfläche des Widerlagers in einem Punkte o, welcher noch aufserhalb der Drehkante w derfelben liegt.

Hieraus folgt, dafs der Widerlagskörper unter dem hier eingeführten möglichft kleinften Gegendrucke des Gewölbes G_1 nicht fähig ift, dem Schube des gröfseren Gewölbes G genügenden Widerftand zu leiften, und dafs der Schub des gröfseren Gewölbes zur Herftellung des Gleichgewichts des ganzen

Syftems gegen Drehung einen gröfseren Gegendruck des kleineren Gewölbes, als folcher in Folge des möglichft kleinften Gewölbfchubes H_0 fich darbot, wachrufen wird, dafs alfo ftatt $H_0 = 6r$ ein gröfserer Gewölbfchub für G_1 eintreten mufs. Da für diefen neuen Gewölbfchub nur die allgemeine wagrechte Richtung bekannt ift, während fein Angriffspunkt und feine Gröfse noch vollftändig unbekannt find; fo kann man, da ein Wachfen diefes Schubes fich unbedingt als erforderlich herausgeftellt hat, da ferner der wagrechte Gewölbfchub für G_1 aber überhaupt vermöge der fymmetrifchen Form und Belaftung des Gewölbes nothwendig feinen Angriffspunkt innerhalb der Scheitelfuge deffelben haben mufs, fofort zu einer weiteren Grenzbeftimmung für denfelben übergehen.

Nimmt man zu diefem Zwecke eine Mittellinie des Druckes an, welche einem möglichft gröfsten Gewölbfchube angehört und welche man mit dem Namen Maximal-Drucklinie bezeichnet, fo geht diefelbe bei dem vorliegenden Gewölbe G_1 durch den tiefften Punkt der Scheitelfuge und den höchften Punkt i der Bruchfuge. Die wagrechte Richtung des Gewölbfchubes H_1 fchneidet die refultirende Gewichtslinie R_1 des Gewölbftückes G_1 im Punkte e_1. Die Richtung $e_1 i$ giebt die Lage des nun entftehenden Kämpferdruckes an. Zieht man im Gewichtsplane $6s$ parallel zu $e_1 i$, fo erhält man $9s$ als Horizontalfchub H_1 und $6s$ als Kämpferdruck. Die Maximal-Drucklinie für H_1 ift in bekannter Weife im Gewölbplane eingezeichnet; diefelbe verbleibt innerhalb der Gewölbfläche, fo dafs hiernach für H_1 keine weitere Unterfuchung nöthig wird. Vereinigt man nun wiederum den Druck $D6$ mit dem Kämpferdruck $6s$ zu der Mittelkraft Ds, zieht man $e_1 i$ im Gewölbplane bis zum Schnitte p mit der Hauptlinie M, führt man ferner durch p einen Strahl pq parallel zu Ds, fo zeigt fich, dafs diefer Strahl, welcher nunmehr die Mittelkraft aus dem Drucke $D6$ und dem neuen gröfseren Kämpferdrucke $6s$ des Gewölbes G_1 enthält, durch den Punkt q innerhalb der Fufsfläche des Widerlagskörpers geht und dafs fomit kein Drehen um die Seitenkanten diefer Fufsfläche eintreten kann, oder dafs bei der früher hinfichtlich der Lage einer Mittellinie des Druckes im Widerlager gemachten Vorausfetzung das Syftem ftabil ift.

Hiernach ift alfo gefunden, dafs der durch die Maximal-Drucklinie bedingte Gegendruck, fobald folcher in diefem Mafse im kleinen Gewölbe durch das grofse Gewölbe wach gerufen würde, im Stande ift, die Standfähigkeit des ganzen Syftemes herbei zu führen. Diefer hier eingetretene, der Maximal-Drucklinie entfprechende Gegendruck kann aber füglich bei einer anderen Form der Gewölblinien oder einer anderen Art der fonft fymmetrifchen Belaftung der verfchiedenen Gewölbe oder einer anderen Gewölbftärke eben fo gut auch über die andere Drehkante w_1 der Fufsfläche des Widerlagers hinausfallen, und damit wäre dann offenbar ein Zeichen dafür gegeben, dafs der Schub des grofsen Gewölbes G eines derart grofsen Gegendruckes nicht bedurfte, um die Standfähigkeit des Syftemes herzuftellen.

Würde in einem anderen Falle aber der Punkt q noch innerhalb der Strecke mw vor der Drehkante w gefunden, fo ift auch der Gegendruck, welcher der Maximal-Drucklinie des Gewölbes G_1 zukommt, nicht fähig, dem Schube des grofsen Gewölbes G den nöthigen Widerftand zu leiften, und ein folcher Fall würde dann bekunden, dafs das gegebene Syftem nicht ftandfähig wäre.

Aus der hier mitgetheilten Unterfuchung ergiebt fich, entfprechend den Grenzwerthen von H_0 und H_1, auch eine Grenzlage für die Punkte o und q in der Ebene EE. So gut nun zwifchen den Grenzen H_0 und H_1 noch zahllofe Werthe des Horizontalfchubes für das Gewölbe G_1, nur gröfser als H_0 und kleiner als H_1, fich einführen liefsen, ebenfo gut würden noch zahllofe Kämpferdrücke und zahllofe, zwifchen o und q liegende Schnittpunkte der aus diefen Drücken und des in der Hauptlinie M wirkenden Schubes $D6$ mit der Ebene EE zu finden fein.

Um nun den Gewölbefchub $H_{,,}$ des kleinen Gewölbes zu finden, welcher eine, jedoch in der Gewölbfläche verbleibende Mittellinie des Druckes liefert, die einem folchen Kämpferdrucke zukommt, der im Stande ift, mit dem Schube $D6$ eine Mittelkraft zu erzeugen, welche die Ebene EE genau im Grenzpunkte w der Drehkante zwifchen o und q trifft, kann man in folgender Weife vorgehen. Denkt man fich den Angriffspunkt des in der Hauptlinie M wirkenden Schubes $D6$ nach m in EE verlegt, eben fo z. B. den Angriffspunkt des Kämpferdruckes $6r$ der Minimal-Drucklinie durch Fortführen der Geraden $e_0 k$ nach t in EE gebracht, fo kann man den Schub $D6$ hier zerlegen in eine lothrechte Seitenkraft P, deren Gröfse offenbar gleich der Strecke $o6$ im Gewichtsplane ift, und in eine wagrechte Seitenkraft, deren Gröfse gleich Do ebendafelbft erhalten war; gleichfalls kann man in t den Kämpferdruck $6r$ in feine lothrechte Seitenkraft Q gleich der Strecke 69 und in feine wagrechte Seitenkraft von der Gröfse $H_0 = 9r$ zerlegen. Die Mittelkraft Dr aus $D6$ und 69 hat in o ihren Angriffspunkt auf EE; diefe kann in eine lothrechte Seitenkraft V und in eine wagrechte Seitenkraft zerlegt werden. Da nun für den Gleichgewichtszuftand das Kräftepolygon $o6rD$ gefchloffen und mit ununterbrochenem Richtungsfinn verfehen fein foll, fo tritt die Strecke Dr in o im Sinne rD, aber in gleicher Gröfse von Dr auf. Ihre lothrechte Seitenkraft ift alfo $V = 9o$.

Die algebraifche Summe aller in E liegenden wagrechten Seitenkräfte mufs gleich Null fein, wie auch die algebraifche Summe der lothrechten Seitenkräfte gleich Null ift. Das für die drei lothrechten Seitenkräfte P, Q und die diefe beiden verzehrende Kraft V mit einer wagrechten Schlufsfeite mt verfehene Seilpolygon mufs äufserfte Strahlen αm und αt befitzen, welche fich auf V in einem beliebigen Punkte α fchneiden, und aufserdem für den Gleichgewichtszuftand gefchloffen fein.

Da die Gröfsen $P = o6$, $Q = 69$ und $V = 90$ bekannt find, fo wird, wenn man im Gewichtsplane oO_1 parallel zur Seilfeite $m\alpha$ und $6\,O_1$ parallel zu mt zieht, in O_1 der Pol des Seilpolygons $m\alpha t$ erhalten; die Gerade $O_1 9$ wird der zu αt gehörige Polftrahl, alfo parallel mit αt.

Soll nun eine Gleichgewichtslage für das ganze Syftem herbeigeführt werden, wobei für irgend einen möglichen, zwifchen i und k der Bruchfuge des Gewölbes G_1 auftretenden Kämpferdruck und dem Schube $D6$ des Gewölbes G eine Mittelkraft entftehen foll, welche durch einen gegebenen Punkt w geht, fo läfft fich der Schnittpunkt F der Richtungslinie eines folchen Kämpferdruckes mit EE überhaupt folgendermafsen feft legen.

Die durch den Punkt 9 im Gewichtsplane geführte wagrechte Linie $9s$ enthält ftets den Endpunkt des von D nach diefer Linie zu ziehenden Kämpferdruckes, weil $o6 = P$ und $69 = Q$ unveränderlich bleiben; eben fo können Do und die wagrechte Lage der Linie $9s$ keine Aenderung erfahren.

Aus diefem Grunde bleibt auch $o9$ ftets unverändert gleich V. Endlich ift auch der Punkt m der Hauptlinie M in EE unverrückbar, wie auch der Pol O_1 nebft den Polftrahlen oO_1, $o_1 6$, $o_1 9$ nicht veränderlich wird.

Geht nun die Lothrechte V durch einen beliebigen Punkt auf EE, z. B. durch w, fo trifft der äufserfte Seilftrahl, welcher nach wie vor parallel $O_1 o$ ift, diefe Lage von V in β. Durch diefen Punkt zieht auch, wie früher bemerkt, nothwendig die zu $O_1 9$ parallele zweite äufserfte Seilpolygonfeite. Legt man alfo durch β einen Strahl βF parallel $O_1 9$, fo wird die wagrechte Schlufsfeite des Seilpolygons $m\beta F$ im feften Punkte F gefchnitten. Durch diefen Punkt F mufs der mit der lothrechten Seitenkraft Q behaftete mögliche Kämpferdruck gehen, welcher die durch w gehende, vorhin bezeichnete Mittelkraft bedingt. Von den zahllofen Linien, welche durch F, zwifchen i und k der Bruchfuge des Gewölbes G_1 liegend, gezogen werden können und welche fämmtlich zwifchen diefen Grenzen i und k einen Kämpferdruck enthalten können, welcher der geftellten Forderung entfpricht, ift eine vorhanden, welche den jetzt möglichft kleinften Kämpferdruck für G_1 enthält.

Zieht man zur Beftimmung diefer Linie durch F und den höchften Punkt i der Bruchfuge einen Strahl, fo fchliefst derfelbe den gröfsten Winkel mit der Wagrechten ein, der in Bezug auf die Punkte i und k möglich wird, fteht alfo am fteilften und wird defshalb, innerhalb des Dreiecks $6rs$ zur Führung einer durch 6 gezogenen Parallelen benutzt, einen kleineren Abfchnitt auf der wagrechten $9s$ hervorrufen, als jeder andere von F nach der Fuge ik gezogene Strahl, d. h. einen möglichft kleinen Gewölbfchub für G_1 veranlaffen.

Zieht man im Gewichtsplane $6\mathfrak{J}$ parallel zu Fi, fo ift $6v$ der gefuchte Kämpferdruck und $9v$ der zugehörige Horizontalfchub des Gewölbes G_1. Verlängert man den Strahl Fi bis zum Schnitte x mit der Lothrechten R_1 und legt man durch x eine Wagrechte, fo trifft diefe die Lothrechte L_1 der Scheitelfuge in y. Diefer Punkt wird Angriffspunkt für den Horizontalfchub $H_{,,}$. Zeichnet man für diefen Schub eine Mittellinie des Druckes $y\gamma\delta i$, fo bleibt diefelbe ganz innerhalb der Gewölbfläche. Der Strahl Fi fchneidet die Hauptlinie M im Punkte z. Die Mittelkraft aus $D6$ und dem zuletzt ermittelten Kämpferdrucke $6v$ ift Dv. Führt man durch z eine Parallele zu Dv, fo trifft diefelbe in der That und wie es fein foll den Punkt w auf EE.

Hiernach ift der in xi durch F ziehende Kämpferdruck $6v$ ein folcher, welcher, von dem hierfür möglichft kleinften in der Wagrechten xy wirkenden Horizontalfchube $H_{,,} = 9v$ mit bedingt, fähig ift, den Grenzzuftand des Gleichgewichtes des ganzen Syftemes gegen Drehung um die Kante w der Fufsfläche des Widerlagers VI hervorzurufen.

Soll bei einer derartigen Stabilitäts-Unterfuchung die Prefsbarkeit des Materials berückfichtigt werden, fo ift beim Gewölbe G der Angriffspunkt von H etwas tiefer, der Punkt h in der Bruchfuge etwas nach innen zu rücken. Eben fo wäre beim kleinen Gewölbe der Angriffspunkt von H_0 etwas tiefer, von H_1 etwas höher zu legen, auch die Punkte i und k ebenfalls je etwas in das Innere auf der Bruchfuge ki zu verrücken. Der Punkt w kann gleichfalls nach q zu verlegt werden. Am eigentlichen Verfahren der Stabilitäts-Unterfuchung wird hierdurch keine Aenderung herbei geführt.

Nach den an der Zeichnung ausgeführten Meffungen ergiebt fich für das Gewölbe G der Werth H zu $0{,}75 \cdot 1{,}5 = 1{,}125$ qm, welchem für Backfteinmaterial nach der Tabelle auf S. 202 eine Gewölbftärke von $1^1/_2$ Stein zuzuweifen ift. Für das kleine Gewölbe G_1 wird der hier zu berückfichtigende Horizontalfchub $H_{,,} = 0{,}4 \cdot 1{,}5 = 0{,}6$ qm, wonach die Gewölbftärke zu 1 Stein feft zu fetzen ift.

Hätte man $H_1 = 0{,}56 \cdot 1{,}5 = 0{,}84^{\text{qm}}$ in Betracht gezogen, fo würde auch hierfür die Gewölbftärke gleich 1 Stein fein. Die normalen Kämpferdrücke erfordern im vorliegenden Falle keine gröfseren Stärken.

Die Fufsfläche des Pfeilers wird von einem lothrechten Drucke $o\,q = 3{,}3 \cdot 1{,}5 \cdot 1 = 4{,}95^{\text{cbm}}$ getroffen. Bei der Lage des Angriffspunktes deffelben in q für die Maximal-Drucklinie in G_1, welcher nahezu mit dem Schwerpunkte der Fufsfläche von $0{,}5^{\text{m}}$ Breite und 1^{m} Tiefe zufammenfällt, ergiebt fich die Beanfpruchung der Steine an der Grundfläche bei einem Eigengewicht von 1600^{kg} für 1^{cbm} zu $\frac{4{,}95 \cdot 1600}{100 \cdot 50} = 1{,}58^{\text{kg}}$ für 1^{qcm}.

Liegt der Angriffspunkt der Gefammt-Refultirenden aller Drücke des Syftemes in der Kräfteebene in einer Hauptaxe der Grundfläche des Widerlagers im Abftande ξ vom Schwerpunkte diefer Grundfläche, fo ift für einen Punkt C im Abftande z von diefem Schwerpunkte die Spannung N nach der Gleichung [168])

$$N = \frac{P}{F}\left(1 + \frac{F\,\xi\,z}{\mathcal{J}}\right)$$

zu beftimmen. Hierin bezeichnen P die gegebene lothrechte Kraft, F die Querfchnittsfläche und $\mathcal{J}$ das Trägheitsmoment, bezogen auf eine Schwerpunktsaxe, welche rechtwinkelig zur Hauptaxe fteht, worin der Angriffspunkt o von P liegt.

Sind hier b die Breite des Pfeilers mit rechteckiger Grundfläche und t die Tiefe deffelben, fo ift $\mathcal{J} = \frac{1}{12}\,t\,b^3$ für die zu der Seite t parallel genommene Schwerpunktsaxe. Alsdann ift $F = b\,t$, und man erhält

$$N = \frac{P}{t\,b}\left(1 + \frac{12\,\xi\,z}{b^2}\right).$$

Nach der Zeichnung ift $b = 50^{\text{cm}}$ und $t = 100^{\text{cm}}$; P ergiebt fich zu $4{,}95 \cdot 1600 = 7920^{\text{kg}}$. Liegt der bezeichnete Angriffspunkt von P im Abftande $\xi = \frac{b}{2}$, alfo in w und ift dann für die Kantenpreffung N der Abftand z ebenfalls gleich $\frac{b}{2}$, fo wird

$$N = \frac{7920}{100 \cdot 50}\left(1 + \frac{12 \cdot 25 \cdot 25}{25 \cdot 25}\right) = \backsim 20{,}6^{\text{kg}} \text{ für } 1^{\text{qcm}}.$$

Diefe Beanfpruchung ift für Backfteinmaterial viel zu grofs, und es müffte dieferhalb für das Widerlager eine gröfsere Breite oder fefteres Material angenommen werden. In jedem Falle ift es zweckmäfsig, die Breite des Widerlagers zu vergröfsern, damit fchon für daffelbe eine Mittellinie des Druckes eintreten kann, welche für den Gewölbfchub des grofsen Gewölbes thunlichft nur abhängig gemacht wird von einem Kämpferdrucke des kleinen Gewölbes, welcher durch die Minimal-Drucklinie für H_0 bedingt ift und wobei alsdann die Drucklinie im Widerlager im inneren Drittel feiner lothrechten Fläche bleibt.

c) Ausführung der Tonnengewölbe.

148. Allgemeines.

Zur Ausführung der Tonnengewölbe werden im Allgemeinen wefentlich Backftein, Bruchftein und, wenn auch in weniger häufigen Fällen, Quader (Werkftücke, Haufteine) als Hauptbauftoffe benutzt, je nachdem in den einzelnen Gegenden diefes oder jenes von den genannten Materialien als vorherrfchendes zur Verfügung fteht und je nachdem die Durchbildung der als Tonnengewölbe ausgeführten Decke eines Raumes in architektonifcher Beziehung mehr oder weniger reich, mehr oder weniger gegliedert in die Erfcheinung treten foll. Waren in früheſter Zeit die Tonnengewölbe bei der Decken-Conftruction über gröfseren Räumen von hohem Werthe und in ihrer Ausführung oft fo kühn behandelt, dafs die Refte derfelben noch heute die Bewunderung der Kunft- und Sachverftändigen, ja jedes gebildeten Menfchen wach rufen, fo ift nach weiterer Entwickelung des Gewölbbaues überhaupt doch die Anwendung des Tonnengewölbes zur Ueberdeckung gröfserer Räume, um als wichtiger Factor bei monumentalen Bauwerken aufzutreten, mehr und mehr in den Hinter-

[168]) Siehe: Theil I, Band 1, zweite Hälfte (Gleichung 50 auf S. 273; 2. Aufl.: Gleichung 69 auf S. 86) diefes »Handbuches«.

grund getreten, fo dafs heute, mit wenigen, ja vereinzelt da ftehenden Ausnahmen, Tonnengewölbe bei Werken des Hochbaues nur zur Ueberdeckung von Kellerräumen, Treppenhäufern, Durchfahrten und, wenn es höher kommt, von Eingangshallen Verwendung finden.

149. Mauerung der Tonnengewölbe.

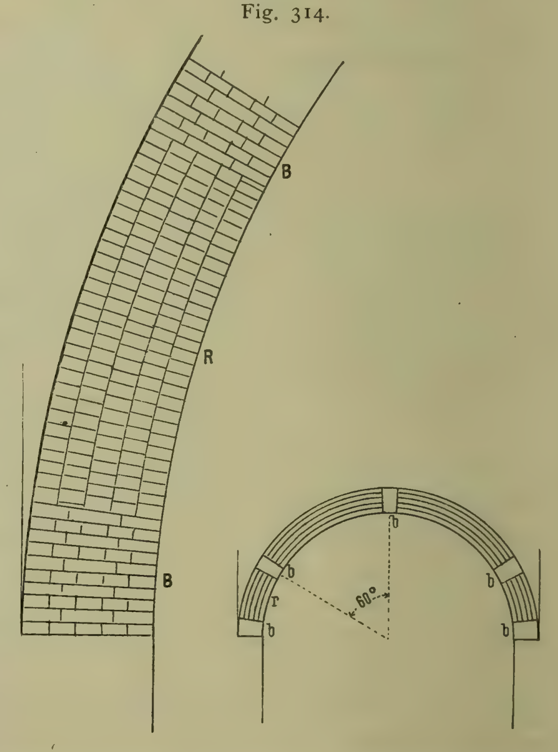
Bei der Mauerung der Tonnengewölbe gelten, ganz abgefehen davon, ob als Wölbmaterial Backftein, Quader oder Bruchftein in Anwendung kommen, zuvor die Sätze, dafs:

1) in der Stirnfläche des Gewölbes eine ungerade Anzahl vom Schlufsftein aus fymmetrifch geordneter und gleich geftalteter Steine auftreten, welche durch Lagerfugen gefchieden find, die in erfter Linie, als einem Hauptverbande zukommend, Ebenen angehören, welche fenkrecht zur Laibungsfläche des Gewölbes und fenkrecht zur Stirnfläche des Gewölbes ftehen;

2) dafs ferner die Stofsfugenflächen zwifchen den Wölbfteinen in Ebenen liegen, welche fenkrecht zur Laibungsfläche und fenkrecht zur Gewölbaxe gerichtet find, doch fo, dafs dabei die Stofsfugen der benachbarten Wölbfchichten oder Wölbfcharen auf Verband angeordnet find, und

3) dafs endlich, wenn das Gewölbe eine gröfsere Stärke erhält, als dafs für jede Schicht ein einziger Stein ununterbrochen von der inneren Laibung bis zur Rückenlinie durchtreten kann, in diefem Falle in jedem fenkrecht zur Gewölbaxe genommenen Gewölbfchnitte (Stirnfchnitt) die einzelnen Wölbfcharen auch hier einen regelrechten Mauerverband aufweifen.

Fig. 314.



Werden aus befonderen Veranlaffungen bei gröfseren Gewölben mit erheblicher Gewölbftärke bei Verwendung von Backfteinen oder kleineren Bruchfteinen mehrere über einander liegende Gewölberinge, fog. Rollfchichten, für die Erzielung der erforderlichen Gewölbftärke in Ausführung genommen, fo ift es dringend erforderlich, die Gewölbftärke jedes einzelnen Ringes fo zu beftimmen, dafs bei n Ringen jeder Ring $\frac{1}{n}$ der Gefammtbelaftung zu tragen vermag und dafs nach Fig. 314 an den gefährlichen Stellen b, bezw. B des Gewölbes, alfo im Scheitel, in den Bruchfugen oder in ihrer Nähe und am Kämpfer durchgehende in regelrechtem Verbande ausgeführte Schichten eingefügt werden, zwifchen welchen die Ringe r, bezw. R für fich ausgemauert werden.

150. Mörtel.

Ift bei den Unterfuchungen des Gleichgewichtszuftandes der Tonnengewölbe im Allgemeinen auf die innigere Verbindung der Wölbfteine durch Mörtel keine Rückficht genommen, vielmehr vorausgefetzt, dafs ein Gewölbe fchon an fich in

jedem befonderen Falle ftabil und tragfähig fein foll, ohne dafs ein von der Wirkung des die Steine mehr oder weniger gut verkittenden Bindemittels, des Mörtels, abhängiger Factor von vornherein mit in Rechnung geftellt wird, fo ift doch bei der praktifchen Ausführung der Tonnengewölbe, wie der Gewölbe überhaupt, auf eine zweckmäfsige Verwendung guten, mit Sorgfalt bereiteten Mörtels Bedacht zu nehmen, da hierdurch felbftredend ein erhöhter Sicherheitsgrad für den Gewölbkörper erzielt wird.

Im Gewölbebau kommen entweder Luftmörtel, Kalkmörtel allein oder hydraulifcher Mörtel, Cement für fich oder endlich, und zwar mit grofsem Vortheil benutzbar, der fog. verlängerte Cementmörtel, d. i. ein Gemifch aus Cementmörtel und Kalkmörtel, zur Verwendung. Für Gewölbe, welche durchgängig aus Schnittfteinen oder Quadern hergerichtet werden, tritt die Verbindung der Steine durch Mörtel mehr in den Hintergrund, während die richtige Formgeftaltung, Lagerung und Verbandanordnung der Wölbfteine vorwiegend in Betracht gezogen werden müffen. Aus diefem Grunde befchränkt fich die Mörtelgabe bei Quadergewölben vielfach beim Verfetzen der Steine zunächft nur auf ein ganz dünnes Beftreichen der Lagerfugenflächen mit fog. Weifskalk (gelöfchter Kalk ohne Sandzufatz), um hierdurch in erfter Linie die noch bei der Bearbeitung der Steine etwa verbliebenen geringfügigen Unebenheiten der Flächen auszugleichen, und fodann, nach der Fertigftellung des Gewölbes, auf das Vergiefsen der Fugen mit dünnflüffigem, nicht zu fchnell erhärtendem Mörtelbrei.

Zu beachten ift, dafs die Gewölbanfänger, wenn diefelben vorgekragt werden, ohne Weiteres gleich mit dem Gefchofs, bezw. Widerlagsmauerwerk in regelrechtem Verbande und bei Backftein- oder Bruchfteinmauerwerk am zweckmäfsigften mit Verwendung von verlängertem Cementmörtel ausgeführt werden. Zu diefem Mörtel benutzt man vortheilhaft das Gemifch von 1 Raumtheil Kalkmörtel, im Mifchungsverhältnifs 1 Theil gelöfchten Kalk, 3 Theile reinen fcharfkörnigen Mauerfand und 1 Raumtheil Cementmörtel, im Mifchungsverhältnifs von 1 Theil Cement und 3 Theilen reinen Flufsfands, bezw. Mauerfands, oder auch ein Gemifch von 2 Raumtheilen des bezeichneten Kalkmörtels und 1 Raumtheil des angegebenen Cementmörtels. Ein inniges Mengen beider Mörtelarten ift vorzunehmen.

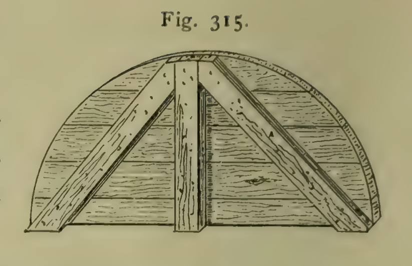
Es ift rathfam, Gewölbe von gröfserer Spannweite oder ftark zu belaftende Gewölbe, welche aus Backfteinmaterial (volle Backfteine oder Lochfteine) oder aus Bruchftein ausgeführt werden, immer mit verlängertem Cementmörtel, unter Umftänden auch mit Cementmörtel allein herzuftellen.

151.
Zeit der
Ausführung.

Im Hochbauwefen erfolgt die Ausführung der Gewölbe am beften erft dann, wenn fich für den Gewölbkörper die Einwirkung von Niederfchlägen beim Vorhandenfein der Ueberdachung des Bauwerkes nicht mehr geltend machen kann.

Erheifchen befondere Umftände eine frühere Herftellung der Gewölbe, fo find diefelben nach ihrer Vollendung mit einer genügend ftarken Sandfchüttung zu überwerfen und hierauf noch mit einer aus Dachpappe oder dergl. beftehenden Schutzdecke zu verfehen, damit etwa auf das Gewölbe herabfallende Bautheile daffelbe nicht durchfchlagen und damit ferner das auf das Gewölbe kommende Regenwaffer nicht nachtheilig wirken kann. Damit das letztere in geeigneter Weife abfliefsen und fchliefslich fachgemäfs fortgeleitet werden kann, find unter Berückfichtigung von Gefälle in den Gewölbzwickeln an einem Punkte oder bei langen Gewölben an mehreren Stellen Abflufsöffnungen von etwa 12 cm Länge und Breite, bezw. 25 cm

Länge und 12 cm Breite anzulegen, durch welche einſtweilig Abfluſsröhren geführt werden.

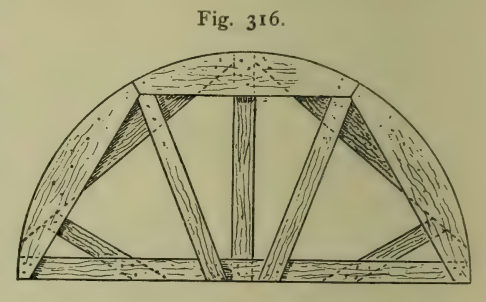

Fig. 315.

152. Rüſtungen.

Die Einwölbung der Tonnengewölbe erfolgt, gleichgiltig welches Material dabei zur Verwendung gelangt, auf beſonderen, meiſtens aus Holzwerk angefertigten, möglichſt leicht aufzuſtellenden und nach der Benutzung auch möglichſt mühelos wieder zu löſenden Rüſtungen.

Von der geſammten Rüſtung ſind die Rippen oder Rüſtbogen die weſentlichſten Beſtandtheile. Für kleinere Gewölbe werden zu dieſen Rippen einfache Wölbſcheiben oder auch einfache Lehrbogen benutzt, während hierfür bei gröſseren Gewölben trägerartige, aus entſprechend ſtarken Hölzern abgebundene Zimmerwerke, die ſog. Lehrgerüſte, zur Anwendung kommen.

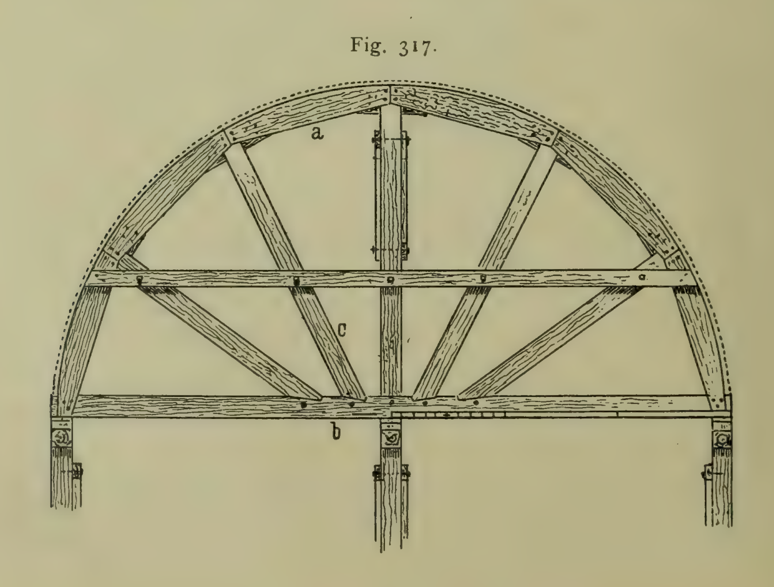
Die einfachen Wölbſcheiben beſtehen nach Fig. 315 aus zuſammengefügten Brettern von 30 bis 35 mm Stärke, welche oben nach der Wölblinie geſchnitten, ſonſt nur durch ſeitlich aufgenagelte Leiſten von 15 bis 20 cm Breite und 30 bis 50 mm Stärke mit einander verbunden ſind.


Fig. 316.

Bei den einfachen Lehrbogen (Fig. 316) ſind bei ſtärkerer Ausführung zwei neben einander liegende Brettſtücke von 30 bis 35 mm Stärke zu einem, der Wölblinie angepaſsten Wölbkranze vereinigt. Dieſer Wölbkranz erfährt weiter durch Leiſten oder Bretter, welche ſtrahlenförmig von einem wagrechten Grundbrett ausgehen, eine Abſteifung und Befeſtigung.

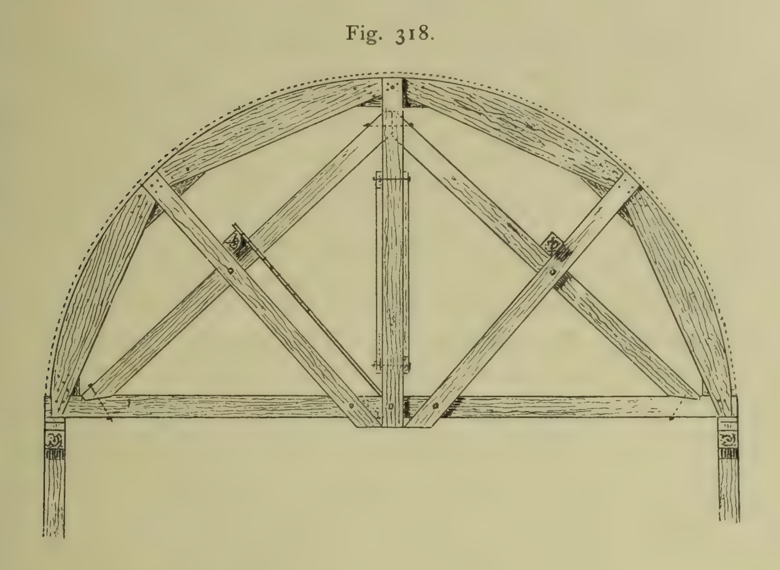
Einen einfachen Lehrbogen, welcher jedoch ſchon den Uebergang zu den Gerüſtbogen eines Lehrgerüſtes bildet, zeigt Fig. 317. Hierbei iſt der aus etwa 5 cm ſtarken, 1,5 m bis höchſtens 3,0 m langen Bohlen angefertigte Wölbkranz *a* mit der Schwelle *b* durch einzelne Pfoſten *c* in kräftige Verbindung gebracht.

Fig. 317.



Bei gröfseren Lehrgerüften ift das Holzwerk der Rippen fo zu ordnen, dafs möglichft unverfchiebbare Dreiecksverbindungen entftehen. Zwifchen die Berührungsflächen derjenigen Verknüpfungspunkte, bei welchen durch die Belaftung der Rüft-

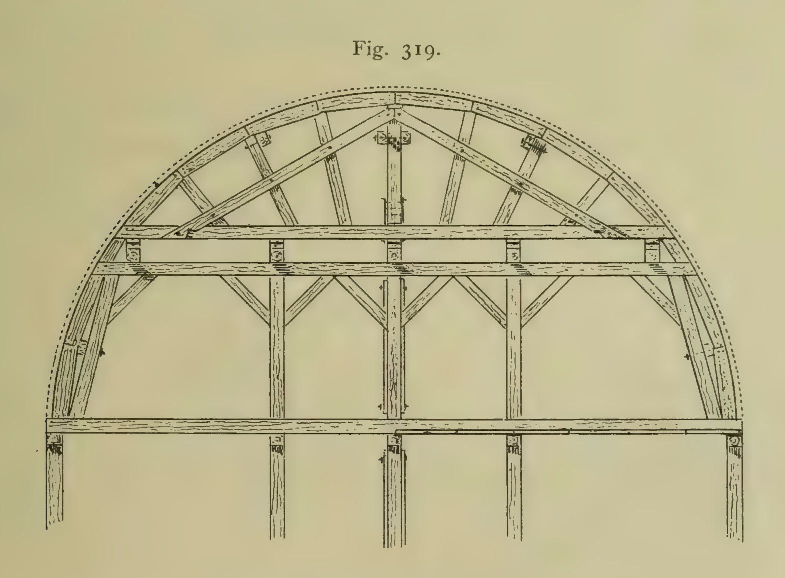
Fig. 318.



bogen die Hölzer fich leicht in einander preffen können, find zweckmäfsig dünne Streifen aus Weifs-, Zink- oder Kupferblech zu legen.

Meiftens werden derartige Rüftbogen als Häng- und Sprengwerke mit durchgehender wagrechter Schwelle conftruirt. Seltener find im Hochbauwefen die ge-

Fig. 319.



fprengten Gerüfte, deren Streben unmittelbar nach dem Widerlager, bezw. nach dem Fufsboden des zu überwölbenden Raumes geführt werden. In Fig. 318 u. 319 find Rippen mit durchgehender Schwelle und darüber befindlichem Streben- nebft Hängefäulen-Syftem dargeftellt. In Fig. 320 ift eine Rüftbogen-Conftruction gegeben,

bei welcher in den Randhölzern *a* radial gerichtete Stäbe *b* zur Aufnahme gebogener Latten *c* dienen, welche dann die $2{,}0$ bis $2{,}5$ cm ftarke Schalung aufnehmen.

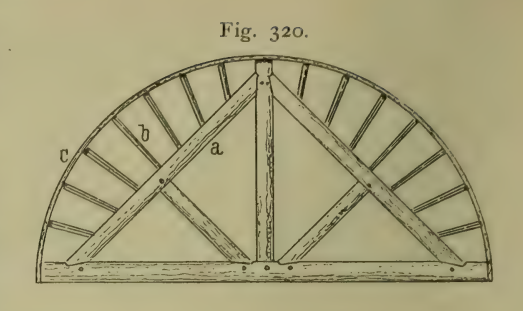


Fig. 320.

Die Stäbe oder Speichen *b* find rund, befitzen einen Durchmeffer von 5 bis 8 cm und werden unten etwas zugefpitzt, in 3 bis 5 cm weite, 10 cm tiefe Löcher gefteckt, welche in den Randhölzern *a* in Entfernungen von etwa 40 cm vorgebohrt werden. Die auf dem Kopfe der Stäbe mit Nägeln befeftigten, etwa $2 + 4$ cm ftarken Latten werden vor ihrer Verwendung in Waffer geweicht, um dadurch leichter biegfam zu werden.

Die Schwellen, Pfoften und Randhölzer find vielfach als Rundholz von 15 bis 22 cm Durchmeffer ohne weiteres Befchlagen gelaffen.

Diefe Lehrbogen, welche in vielen Gegenden am Rhein Anwendung finden, find für die Einwölbung in Entfernungen von etwa $0{,}60$ m aufzuftellen.

Sollen die Rüft- oder Lehrbogen als eigentliche Träger der nach und nach von den Bogenanfängen aufgebrachten Wölbfchichten hinfichtlich ihrer durch das Gewicht der Wölbfteine erfolgenden Beanfpruchung einer Unterfuchung unterzogen werden, fo ergiebt fich zunächft, dafs von allen Wölbfchichten, deren Lagerflächen eine geringere Neigung zur Wagrechten haben, als der Reibungswinkel des Wölbmaterials beträgt, kein Druck auf den Tragbogen ausgeübt wird. Sodann aber ergiebt fich weiter, dafs eine Wölbfchicht, deren Lagerfläche in ihrer Neigung diefen Reibungswinkel überfchreitet, abgleiten würde und nur durch ihre vom Rüftbogen getragene Unterlagerung hieran verhindert wird. Diefe Wölbfchicht erzeugt alfo einen Druck für den Rüftbogen. Verfolgt man jede weitere Wölbfchicht bis zur Scheitelfchicht, fo ergiebt fich ein fortwährendes Steigen der Gröfse der einzelnen Drücke der Wölbfchichten und erft nach dem vollftändigen Schluffe des Gewölbes kann, da das Gewölbe alsdann frei für fich beftehen foll, die Entlaftung der Rüftbogen fich geltend machen.

153.
Druck auf die Rüftbogen.

Für den Rüftbogen felbft kommen die von einer Anzahl von Wölbfchichten hervorgerufenen gröfsten Drücke in erfter Linie in Betracht. Zur Beftimmung diefer gröfsten Belaftung des Rüftbogens benutzt man ein zeichnerifches Verfahren, welches jedoch unter der nicht ganz ftrengen Annahme, dafs die Preffungen immer in winkelrechter Richtung für den Rüftbogen wirken, nur als Näherungsverfahren anzufehen ift. Da die Theorie der Rüftbogen indeffen für die praktifche Ausführung keine hervorragende Bedeutung hat, diefelbe auch einem anderen, als dem hier betretenen Gebiete angehört, fo möge nur das gewöhnliche Verfahren angegeben werden, welches zur Ermittelung des an irgend einer Stelle auftretenden gröfsten Druckes dient.

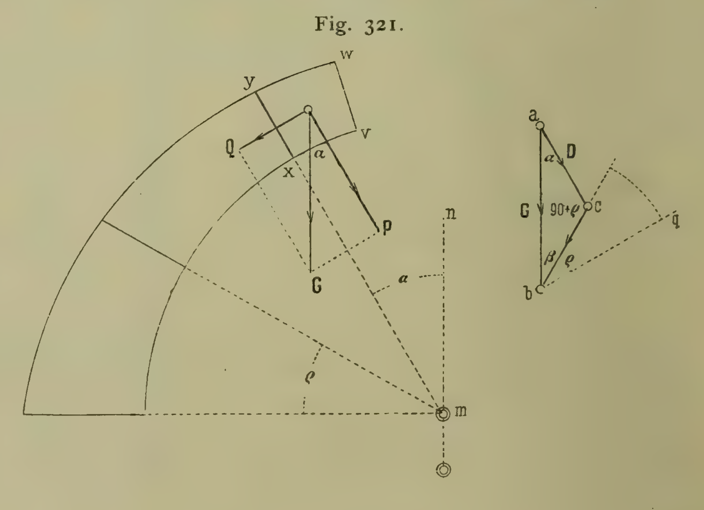


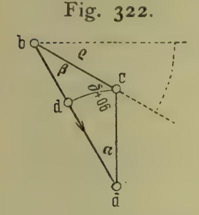
Fig. 321.

In Fig. 321 sei $xyvw$ ein Wölbstein von sehr geringer Breite $xv = b$, von der Tiefe gleich der Längeneinheit und vom Gewichte v für die Körpereinheit. Alsdann ist das Gewicht dieses Wölbsteines, da die Höhe h desselben als xy und die Breite b für das schmale Stück beibehalten werden können, bestimmt als

$$G = b \cdot h \cdot 1 \cdot v \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 162.$$

Der Körper ruht auf der beliebig angenommenen Lagerfläche xy, welche unter einem Winkel α zum Scheitellothe mn geneigt ist. Bezeichnet ρ den Reibungswinkel des Materials, so erhält man nach der Lehre von der schiefen Ebene unter Bezugnahme auf Fig. 321 und auf die darin vorgenommene Zerlegung von G in die Seitenkräfte P und Q, diejenige Kraft D, welche den Körper auf der schiefen Ebene xy abwärts zu treiben sucht und welche dem Drucke auf die Unterlage des Wölbsteines entsprechen soll, als

Fig. 322.



$$D = P - \operatorname{tg} \rho \cdot Q,$$

d. h., da $P = G \cdot \cos \alpha$ und $Q = G \cdot \sin \alpha$ ist, auch

$$D = G\,(\cos \alpha - \operatorname{tg} \rho \cdot \sin \alpha) \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 163.$$

Dieser Ausdruck lässt sich nach Fig. 321 leicht durch Zeichnung darstellen. Nimmt man $ab = G$, zieht man ac parallel zu P, bq parallel zu Q und trägt man alsdann den Winkel $cbq = \rho$ an bq, so schneidet der Schenkel bc den Strahl ac in c, und im Dreiecke abc ist ac gleich dem gesuchten Werthe von D.

Denn es ist

$$\frac{D}{G} = \frac{\sin \beta}{\sin (90 + \rho)} = \frac{\sin\,[90 - (\alpha + \rho)]}{\cos \rho} = \frac{\cos (\alpha + \rho)}{\cos \rho} = \frac{\cos \alpha \cdot \cos \rho - \sin \alpha \cdot \sin \rho}{\cos \rho},$$

also auch

$$D = G\,(\cos \alpha - \operatorname{tg} \rho \cdot \sin \alpha).$$

Bringt man das Dreieck abc in die Lage von Fig. 322, indem man $ab = G$ parallel zu xy zieht, so ergiebt sich auch ac als D. Schlägt man ac von a aus auf ab nieder, so ist auch $da = D$ der für den Wölbstein $xyvw$ in Frage kommende Druck.

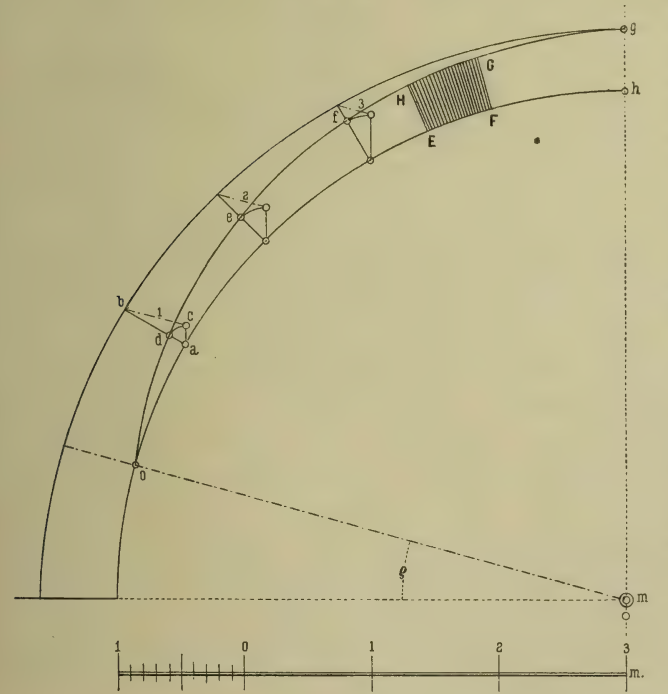
Setzt man in Gleichung 163 für G den Werth aus Gleichung 162, so wird

$$D = bhv\,(\cos \alpha - \operatorname{tg} \rho \cdot \sin \alpha),$$

und hieraus folgt weiter

$$\frac{D}{bv} = z = h\,(\cos \alpha - \operatorname{tg} \rho \cdot \sin \alpha) \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 164.$$

Fig. 323.



Dieser Werth von z bezeichnet den specifischen Druck des Rüstbogens im Punkte x. Derselbe kann nach Maßgabe von Fig. 322 wiederum leicht durch Zeichnung ermittelt werden, sobald man für jeden Punkt x nur die Strecke ab gleich der zugehörigen Fugenlänge $xy = h$ nimmt und sonst unter Benutzung des veränderlichen Winkels α, wie derselbe der jedesmal gewählten Fuge zukommt, und des als unveränderlich geltenden Reibungswinkels ρ ganz nach Fig. 322 verfährt.

Am einfachsten wird diese Darstellung gleich in der Stirnfläche des Gewölbes, wie Fig. 323 zeigt, selbst vorgenommen. Bei der hier gegebenen Bestimmung der einzelnen Drücke ist der Reibungswinkel ρ nur zu 15 Grad gewählt, um der durch den frischen Mörtel bewirkten wesentlichen Verminderung der Reibung zwischen den Lagerflächen Rechnung zu tragen.

Verbindet man die für mehrere Fugen gewonnenen Punkte d, e, f u. s. f., wobei die Strahlen *1*, *2*, *3* u. s. f.

fämmtlich parallel zu *mo* geführt werden, durch einen Linienzug, fo begrenzt derfelbe gemeinfchaftlich mit der inneren Wölblinie die Fläche *odefgh* der gröfsten, rechtwinkelig zum Rüftbogen wirkenden Drücke. Soll mit Hilfe diefer Zeichnung der gröfste auf die Fläche *EF* kommende Druck *D* ermittelt werden, fo ergiebt fich für die Tiefe gleich der Längeneinheit nach Gleichung 164: $D = zbv$, d. h., da *zb* die Fläche *EFGH* darftellt, die Regel: Man beftimme die Mafszahl des Flächeninhaltes des Stückes *EFGH* der Druckfläche und multiplicire diefelbe mit der Mafszahl des Gewichtes der Körpereinheit des Wölbmaterials, um den Werth des für die Länge *EF* in Frage kommenden Druckes zu erhalten.

Aus der Druckfläche ergiebt fich die Zunahme der rechtwinkelig zum Rüftbogen gerichteten Preffungen vom Punkte *o* gleich Null bis zum gröfsten Drucke *gh* im Punkte *h* des Gewölbefcheitels. Für die Conftruction des Rüftbogens folgt hieraus, dafs bis zum Punkte *o* keine Unterftützung der Wölbfteine durch diefen Bogen nothwendig wird, dafs alfo bis zu diefem Punkte vom Kämpfer aus, wie Fig. 319 (S. 221) zeigt, die Anordnung der Rippe fich auf einfachere verbindende Theile, vom Punkte *o* ab bis zum Scheitel jedoch aufser verbindenden Theilen noch auf kräftigere, ftützende Conftructionsglieder zu erftrecken hat.

154.
Unter-
lagerung.

Die einzelnen Rippen werden parallel zur Stirnebene des Gewölbes in Entfernungen von 1 m bis höchftens 2 m hinter einander aufgeftellt. Hierzu bedürfen diefelben einer kräftigen Unterlagerung, welche als weiteres Zubehör des Lehrgerüftes auftritt. Diefe Unterlagerung mufs fo hergeftellt fein, dafs die einzelnen Rippen während der Ausführung des Gewölbes fich nicht in merkbarem Grade fenken, fich nicht verfchieben oder verdrehen können. Zweckmäfsig ift eine Unterftützung, welche möglichft aus lothrecht oder aus fchwach geneigten Pfoften befteht, welche dann rechtwinkelig zu den Rippen ziehende Rahmhölzer oder Holme erhalten, alfo in ihrem Wefen ähnlich der Anordnung einer feften Fachwerkwand erfcheint. Hänge- und Sprengwerks-Conftructionen zu folchen Unterftützungen zu wählen, ift defshalb weniger vortheilhaft, weil bei diefen leichter ein Zufammendrücken der verfchiedenen Verbandhölzer und damit leichter das unbeabfichtigte Senken der Rüftbogen eintreten kann. Im Hochbauwefen laffen fich bei gröfseren Gewölben derartige Hänge- und Sprengwerksunterftützungen dann nicht gut vermeiden, wenn der Raum unter der Deckenbildung während der Bauzeit möglichft frei zu laffen ift. In folchen Fällen mufs in jeder Beziehung für eine kräftige Durchbildung diefer Unterftützungen geforgt werden. Wie auch die Art der Unterftützungen fein mag, ftehend oder liegend, immer müffen diefelben unter fich noch durch Längshölzer, Kreuzftreben u. f. w. abgefteift werden, um als unverfchiebbares Gerippe aufzutreten.

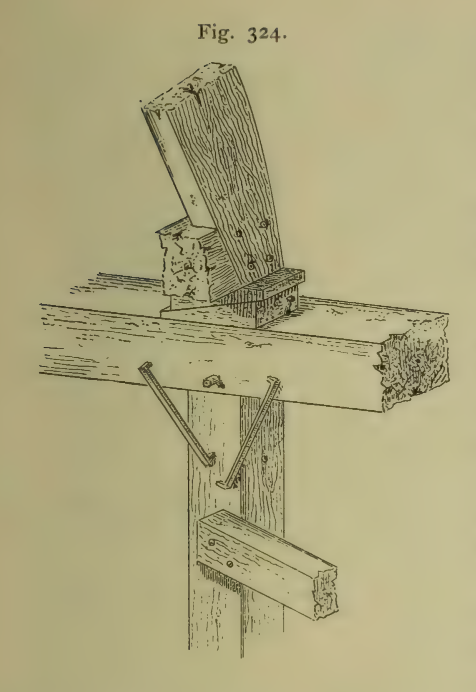
155.
Ausrüftungs-
vorrichtungen.

Von Bedeutung ift die Auflagerung der Rippen auf der darunter befindlichen Stütz-Conftruction.

Da die Rippen auf ihrer oberen Begrenzung eine weitere Bekleidung, die fog. Schalung, wovon gleich die Rede fein wird, aufzunehmen haben, welche in ihrer oberen Mantelfläche der Laibungsfläche des Gewölbes zu entfprechen hat, fo mufs von vornherein eine genaue Aufftellung der Rüftbogen vorgenommen werden; da aber auch andererfeits die Löfung der Rüftbogen nach gefchehener Einwölbung leicht, allmählich, fanft und nicht ftofsweife erfolgen mufs, damit nach dem veranlafften Senken der Rippen ein etwaiges Setzen des Gewölbes ohne Nachtheil für daffelbe ftattfinden kann, fo find diefen Bedingungen gemäfs die Lagerungen der Rüftbogen auszubilden.

Zu diefen Lagerungen benutzt man in vielen Fällen aus hartem Eichen-, Weifsbuchen-, Efchenholze u. f. w. angefertigte Doppelkeile mit mäfsiger Schärfe von 10 bis 15 cm Breite, 20 bis 30 cm Länge und 6 bis 10 cm Dicke (Fig. 324), welche zwifchen den Holm der Unterftützung und die Sohle der Rippe gelegt werden. Durch ein geringes Antreiben oder andererfeits durch ein fanftes Löfen diefer Keile,

Fig. 324.

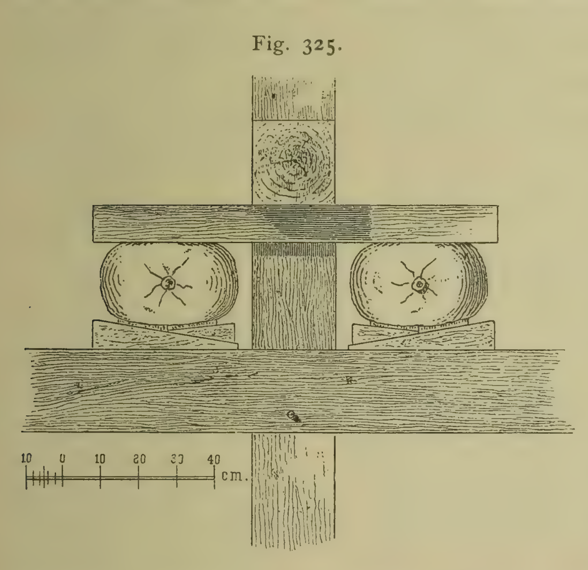


welche ab und an auch zur Verminderung der Reibung mit ſchwarzer Seife dünn beſtrichen werden, iſt ein leichtes Heben oder Senken der Rüſtbogen möglich.

Auſser ſolcher Keillagerung kommen bei gröſseren Gewölben auch Sandſäcke, beſſer Sandbüchſen oder Sandtöpfe, und unter Umſtänden auch Schraubenſätze zur Verwendung.

Die Sandſäcke ſind aus feſtem Zeug, Segelleinwand oder auch aus Leder angefertigte Beutel, welche an einem Ende zugeſchnürt werden können. Dieſe Säcke werden mit ganz reinem, durchaus trockenem, feinem Sande äuſserſt feſt gefüllt und entweder gleich beim Aufſtellen der Rüſtungen ſtatt der eben bezeichneten Keile eingelegt oder erſt ſpäter nach Vollendung der Wölbung zwiſchen Holm und Schwelle gebracht. Im letzteren Falle ſind die Rüſtbogen während der Wölbung durch einen Holzpfoſten, auf welchem ein kurzes Lagerholz liegt, geſtützt. Die Pfoſten werden nach Schluſs des Gewölbes an jeder Seite von Sandſäcken (Fig. 325), die durch angeſchobene kleine Holzkeile weiter gerichtet ſind, umlagert und dann keilförmig eingeſchnitten, ſo daſs ſie zum Umkippen gebracht werden können. Iſt dieſes Umkippen erfolgt, ſo ſetzen ſich die kurzen Lagerhölzer mit den Rüſtbogen unmittelbar auf die Sandſäcke. Wird die Schnürung derſelben vorſichtig gelöst, ſo rinnt der Füllſand in feinen Fäden langſam aus und die Rüſtbogen ſenken ſich in regelmäſsiger, ſtoſsfreier Weiſe. Unter Umſtänden befördert man das Ausflieſsen des Sandes noch durch Anrühren deſſelben mit Hilfe eines Eiſendrahtes oder Holzpflockes.

Fig. 325.



Die Sandbüchſen oder Sandtöpfe (Fig. 326) ſind cylindriſche, aus Guſs- oder Schmiedeeiſen angefertigte Gefäſse mit Boden. In den Seitenwandungen derſelben ſind in geringer Entfernung über dem Boden kleine Oeffnungen angebracht, welche durch einen dünnen Holzpflock geſchloſſen werden. Zur Büchſe gehört weiter ein cylindriſcher Stempel, welcher aus Guſseiſen beſteht, oder aus einem Holzkörper, welcher oben und unten mit Eiſenringen beſchlagen iſt, hergeſtellt wird. In die Sandtöpfe wird wiederum eine in ihren Eigenſchaften ſchon vorhin beſchriebene Sandfüllung gebracht; die Stempel werden ſo aufgeſetzt, daſs unter denſelben eine genügende Sandlage verbleibt und die ſo eingerichtete Büchſe nach ihrer Einfügung zwiſchen

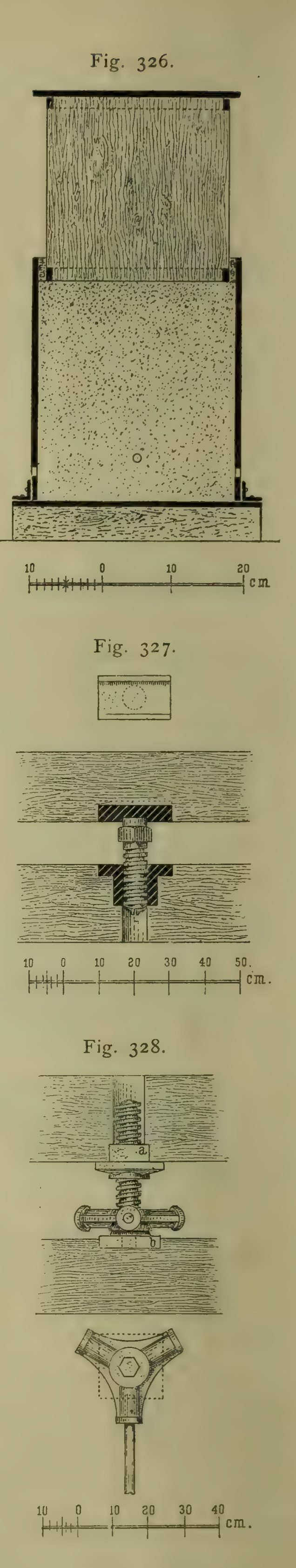
Holm und Schwelle eine richtige und genaue Aufſtellung der Rüſtbogen möglich macht.

Nach der Ausführung des Gewölbes wird das Löſen der Rüſtbogen durch Ausziehen der Verſchlüſſe der Oeffnungen der Büchſen eingeleitet. Die Sandfüllung derſelben rieſelt aus, und die Senkung der Rüſtbogen geht langſam vor ſich. Hierzu iſt aber vollſtändige Trockenheit des reinen Sandes nothwendig, da derſelbe, feucht geworden und durch die Belaſtung gepreſſt, ſich zuſammenballt und nicht ausfließt, ſelbſt wenn durch Nachhelfen mittels eines Eiſendrahtes dieſes Fließen befördert werden ſollte. In ſolchem Falle müſſen die Sandtöpfe mit ſtark erwärmten Sandbeuteln umlegt werden, um hierdurch den Sand in den Büchſen wieder in möglichſt trockenen Zuſtand zu ſetzen. Offenes Feuer darf ſelbſtverſtändlich zum Trocknen des Büchſenſandes nicht in Anwendung kommen.

Die Schraubenſätze ſind einfache Hebeſchrauben. Die in Fig. 327 gegebene Hebeſchraube ſteht zwiſchen dem Holme des Untergerüſtes und der Schwelle des Rüſtbogens, während bei der in Fig. 328 dargeſtellten Schraube die Schraubenmutter *a* in der Schwelle befeſtigt, die Schraubenſpindel weiter jedoch durch eine Oeffnung derſelben geführt wird. Im Holm des Rüſtbogens iſt die Scheibe *b* verlegt, gegen welche der Dorn des Kopfendes der Spindel tritt. Durch entſprechendes Andrehen der Schraubenſpindel erfolgt ein Heben oder Senken des Rüſtbogens.

Derartige Schraubenſätze werden bei gröſseren Gewölben auch wohl gemeinſchaftlich mit Doppelkeilen angewandt. Sind die letzteren beim Aufſtellen der Rüſtbogen genau eingefügt, ſo werden die Schraubenſätze ſeitlich von denſelben aufgeſtellt. Nach dem Einwölben werden die Schrauben mäſsig angedreht, um die Rüſtbogen in geringem Maſse zu heben und dadurch die Keile etwas zu lüften. Nach dem nunmehr müheloſen Entfernen der Keile ruhen die Rüſtbogen nur noch auf den Schraubenſätzen, welche für die jetzt vollſtändig zu beherrſchende Senkung der Rüſtbogen in Thätigkeit geſetzt werden können.

Bei beſonders groſsen Gewölben des Hochbauweſens iſt der Wölbkranz der Rüſtbogen nicht aus Bohlen hergerichtet, die unmittelbar mit dem Stützenwerk feſt verbunden ſind, ſondern aus ſog. Kranzhölzern *k* (Fig. 329) von etwa 2 m Länge und genügender Stärke angefertigt, welche in Ausſchnitten (Scheren) ihrer Stützen liegen und durch Doppelkeile, wie Fig. 329 zeigt, unterlagert ſind.



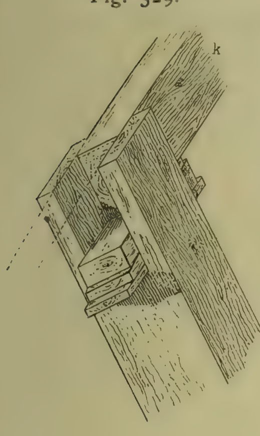


Fig. 329.

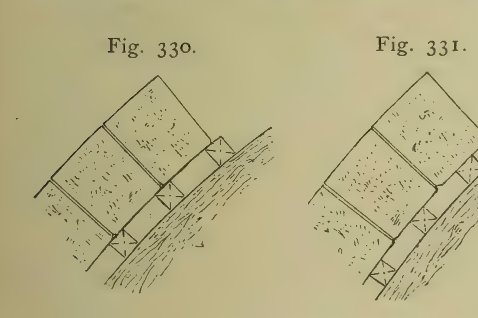
Bei ſolcher Anordnung iſt die Senkung der Kranzhölzer durch Lockern der Keile allein ſchon zu beſchaffen.

156. Schalung.

Den oberen Abſchluſs der Rüſtbogen bildet die Schalung. Hierunter verſteht man einen Belag aus Bohlen, Schalbrettern oder aus Latten, Gewölbelatten, welche in ihrer oberen Fläche eine der Laibung des Gewölbes genau entſprechende Mantelfläche liefern. Die Bohlen werden dicht neben einander gelegt, während die Latten mehr oder weniger breite Fugen zwiſchen ſich laſſen.

Die Rüſtbogen ſind die Träger der Schalung, welche rechtwinkelig über dieſe Bogen hinwegzieht. Die Bohlen erhalten im Allgemeinen keine weitere ausgiebige Befeſtigung mit den Rüſtbogen. Dieſelben werden meiſtens nur an ihren Enden mit dünnen Drahtſtiften geheftet. Die Scheitelbohle wird unter Umſtänden mehrfach geheftet, da hierdurch ſchon ein ſeitliches Verſchieben der Rüſtbogen gegen einander mit vermieden wird. Die Latten werden jedoch zweckmäſsig mit Drahtſtiften aufgenagelt. Alle dieſe Befeſtigungen müſſen aber nach dem Ausrüſten, alſo nach dem Senken der Rüſtbogen mühelos in einfachſter Weiſe gelöst werden können. Zur Vermeidung einer unregelmäſsigen Geſtaltung der inneren Wölbfläche während der Ausführung muſs die Schalung ſo ſtark ſein, daſs dieſelbe ſich bei ihrer Belaſtung durch die Wölbſteine überall in bemerkbarer Weiſe nicht durchbiegt. Je nach dem Abſtande der Rüſtbogen von einander erhalten die 20 bis 25 cm breiten Bohlen eine Stärke von 3 bis 5 cm. Die Gewölbelatten beſitzen meiſtens einen quadratiſchen Querſchnitt, deſſen Seitenlänge zwiſchen 5 bis 15 cm ſchwankt.

Backſtein- und Bruchſteingewölbe, ſo wie auch ſchiefe Gewölbe erhalten meiſtens und auch zweckmäſsig eine geſchloſſene Bohlenverſchalung. Quadergewölbe jedoch werden ſachgemäſs auf einer Lattenſchalung ausgeführt. Hierbei unterſcheidet man die Schalung mit ſog. halben Latten (Fig. 330) und Schalung mit ſog. ganzen Gewölbelatten (Fig. 331). Bei der erſteren liegt eine Schallatte mitten unter jeder Lagerfuge von zwei zuſammentretenden Wölbſteinen. Dieſe Anordnung iſt beim Verſetzen der Steine vortheilhaft, geſtattet aber ein Beobachten der Lagerfugen von unten aus nicht, und daher iſt die zweite Art der Lagerung der Schallatten mitten unter jedem Wölbſtein, wonach ein genaues Verfolgen der geraden Richtung der Lagerfugenkanten von unten aus möglich wird, bei Quadergewölben vorzuziehen.


Fig. 330. Fig. 331.

157. Einwölbung.

Auf der Schalung, gleichgiltig ob Bohlen- oder Lattenſchalung vorhanden iſt, wird die Theilung des Gewölbes durch Blei- oder Kohlenriſſe vor Beginn der Wölbung vorgenommen. Je ſorgfältiger dieſe Theilung ſtattgefunden hat, um ſo leichter und beſſer iſt die Ausführung des Gewölbes zu beſchaffen und zu überwachen.

Die Einwölbung ſelbſt beginnt unter Beobachtung eines ſorgfältigen Annäſſens der Wölbſteine gleichzeitig vom Widerlager aus und geht regelmäſsig und in Bezug

zur Scheitellinie fymmetrifch weiter bis zur letzten Schicht, der Schlufsfteinfchicht. Durch zweckmäfsige Vertheilung des zu benutzenden Wölbmaterials auf der Schalung, bezw. auf befonderen an den Rüftbogen gefchaffenen Belaftungsböden, für welche die vorhandenen wagrechten Verbindungshölzer der Rippen als Unterlager dienen können, ift man beftrebt, die Ungleichmäfsigkeit in der Belaftung und die hierdurch bewirkte Formveränderung der Gerüft-Conftruction während des Einwölbens thunlichft zu befeitigen.

Beim Einfetzen der Schlufsfteinfchicht ift mit Vorficht zu verfahren. Scharfes Eintreiben der Steine diefer Schicht durch mit Erfchütterungen verknüpfte Stöfse ift zu vermeiden, weil hierdurch nicht allein eine unangenehme Wirkung für das Lehrgerüft, fondern auch leicht ein Zerfpringen der Mörtelbänder oder gar einzelner Steine herbeigeführt wird. Bei guter und aufmerkfam vorgenommener Wölbungsarbeit bleibt für die Schlufsfteinfchicht die genau bemeffene Lücke übrig, welche alsdann voll und regelrecht durch die zugehörigen Wölbfteine gefüllt werden kann. Häufig wird die Schlufsfteinfchicht erft trocken vermauert, bezw. verfetzt und dann in den engen Fugen mit einem Cementmörtel vergoffen, wobei zu beachten ift, dafs diefer Mörtel die Fugen vollftändig füllt. Diefes Verfahren ift immerhin zu empfehlen, da hierdurch alle Erfchütterungen des Gewölbkörpers vermieden werden.

Nach der Vollendung des Gewölbes ift immer noch eine Prüfung der Fugen auf der Rückenfläche deffelben vorzunehmen. Etwa vorhandene offene Stellen derfelben find mit Mörtel zu dichten. Sehr zweckmäfsig erfolgt hierauf ein Uebergiefsen der ganzen Rückenfläche mit einem dünnflüffigen Kalk- oder beffer Cementmörtel, welche mit Hilfe eines Reifigbefens in einer dünnen Schicht ausgebreitet wird. Hierdurch werden etwa in den Fugen noch vorhandene Lücken gleichzeitig mit ausgefüllt. Nachdem diefes gefchehen, ift eine Ausmauerung der Gewölbezwickel, bezw. ein Ausfüllen derfelben mit Grobmörtel (Beton) vorzunehmen. Letztere Ausfüllung erfetzt jedoch die Ausmauerung nicht vollftändig und follte defshalb nur bei kleinen Gewölben in Anwendung kommen.

Fig. 332.

Zum Theile kann die Hintermauerung der Zwickel auch nach Fig. 332 gleich bei der Ausführung des Gewölbes im Wölbverbande mit hergeftellt werden.

158.
Zeit der Ausrüftung.

Von jeher hat die Frage, wann die Ausrüftung des gefchloffenen Gewölbes, d. h. die Senkung der Rüftbogen, bezw. die Entfernung derfelben gefchehen foll, eine Rolle gefpielt. Von einer Seite wird die fofortige Ausrüftung der Gewölbe nach ihrer Vollendung, von anderer Seite die Ausrüftung nach einiger Zeit, welche dem Fugenmörtel bereits eine Erhärtung geftattet hat, empfohlen.

Wird die Ausrüftung fofort nach der Vollendung des Gewölbes vorgenommen, fo ift der Mörtel noch weich; die Wölbfteine preffen fich an einander und bewirken, namentlich in der Nähe der Bruchfugen, ein Hervorquillen des Mörtels aus den Lagerfugen. Das Gewölbe vermag fich bei fonft entfprechender Anordnung, durch den Mörtel wenig beeinflufft, allerdings in den Gleichgewichtszuftand zu fetzen; aber die wünfchenswerthe Eigenfchaft, dafs der in feinen Wölbfteinen durch Mörtel verbundene Wölbkörper fich thunlichft einem elaftifchen Bogen mit gefchloffener Wand

nähern möge, wird hierdurch ohne Weiteres nicht hervorgerufen. Sind die Gewölbe nur mit Kalkmörtel gemauert, fo ift bei fofortiger Ausrüftung das Ausquillen der Fugen oft recht ftark bemerkbar; weniger ftark zeigt fich diefes Hervorquillen bei Verwendung von verlängertem Cementmörtel oder reinem Cementmörtel. Mit einer Verminderung und Zufammenpreffung der Mörtelbänder in den Lagerfugenflächen ift offenbar eine Verkürzung der Bogenlänge und eine Formveränderung des Gewölbes, das fog. Setzen deffelben, verbunden, und es dürfte einleuchtend fein, dafs, je mehr das Zufammenpreffen der noch weichen Mörtelbänder fich geltend macht, defto gröfser auch das Setzen oder die Senkung des Gewölbes fein mufs. Solche Senkungen follen aber bei jedem Gewölbe auf das möglichft geringfte Mafs befchränkt werden, und fomit folgt, dafs, zur Vermeidung ftarker Zufammenpreffungen der Mörtelbänder, dem Mörtel felbft eine gewiffe Zeit zu feiner Erhärtung und zu feinem Verbinden mit den Wölbfteinen zu laffen ift. Dafs durch die innigere Verbindung des Mörtels mit den Wölbfteinen eine gröfsere Standfähigkeit erzielt werden mufs, lehren die Gewölbe früherer Zeit, welche einem Abbruche unterworfen werden mufften. Konnte doch oft bei folchen Gewölben die Schlufsfteinfchicht ihrer ganzen Länge nach befeitigt werden, ohne dafs die Gewölbfchenkel nach innen einftürzten; konnten doch oft diefe Gewölbfchenkel felbft nur durch Zerftören mittels kräftiger Sprengungsftoffe befeitigt werden! Die Wölbfteine waren vollftändig verkittet; das Gewölbe war ein in fich nahezu gleichartiger Körper; von einem Senken diefes Körpers oder der Erfcheinung klaffender Fugen kann keine Rede mehr fein.

Durch diefe Gefichtspunkte gelangt man in logifcher Weife zu dem Ergebnifs, dafs eine fofortige Ausrüftung derjenigen Gewölbe, bei welchen, wie bei Backftein- oder Bruchfteingewölben, die Mörteleinfügung immer eine Bedeutung annimmt, weniger rathfam ift, als die nach einiger Zeit nach Schlufs des Gewölbes vorgenommene Ausrüftung. Der Gewölbkörper mufs eben durch die Verkittung mit Mörtel feine ihm urfprünglich angegebene Form in befferer Weife beibehalten, als folches bei fofortiger Ausrüftung möglich ift, mufs weniger Senkung aufweifen und mufs im Allgemeinen, weil die Annäherung an einen vollwandigen Bogen, abgefehen davon, dafs derfelbe mehr oder weniger elaftifch ift, in höherem Mafse erfolgt, in feiner Standfähigkeit eine Verbefferung erfahren. Wenngleich nun im Hochbauwefen in den meiften Fällen das Entfernen der Wölbgerüfte in möglichft kurzer Zeit wird angeftrebt werden müffen, da fchnelles Vorwärtskommen im Bau oft angezeigt erfcheint, fo möge unter Berückfichtigung aller Einflüffe, welche, wie feuchte Luft, Windzug u. f. f., die Erhärtung der Mörtelbänder zurückhalten oder befchleunigen können, doch darauf Bedacht genommen werden, ein zu frühzeitiges Ausrüften der Gewölbe zu vermeiden. Wenngleich nun eine geraume Zeit verfliefsen mufs, bevor alle Mörtelbänder, die in ihren Rändern früher erhärten, als in ihrer Mitte, eine nahezu gleiche Prefsbarkeit und nahezu gleiche Bindefähigkeit erhalten, fo kann man als Regel gelten laffen, kleine Gewölbe erft etwa nach 2 bis 3 Tagen, grofse Gewölbe nach 4 bis 6 Tagen und Gewölbe bis etwa 8 m Spannweite erft nach 8 Tagen auszurüften. Noch gröfsere Gewölbe laffe man fo lange als möglich unausgerüftet. Bei geringer Fugenftärke von 1 cm und gut und rafch bindendem Mörtel kann die Zeit bis zur vorfichtig vorzunehmenden Ausrüftung herabgefetzt werden.

Bei Quadergewölben tritt, wie fchon früher erwähnt, die Mörtelung mehr in den Hintergrund. Demnach können folche Gewölbe ein fofortiges Ausrüften nach ihrer Vollendung fchon leichter ertragen.

In jedem Falle ift das Ausrüften der Gewölbe in ruhiger, vorfichtiger Weife vorzunehmen, damit eine Schädigung fowohl des Gewölbes, wie auch der Gerüfttheile vermieden wird.

Im Allgemeinen zeigt ein jedes Gewölbe nach der Ausrüftung eine mehr oder weniger bemerkbare Senkung. Je forgfältiger die Ausführung, je beffer das benutzte Material war, um fo geringer tritt folche Senkung auf.

159.
Senkung.

Die Angaben über das muthmafsliche Senken der Gewölbe find von vornherein im höchften Mafse ungenau, fo dafs diefelben beffer unterbleiben.

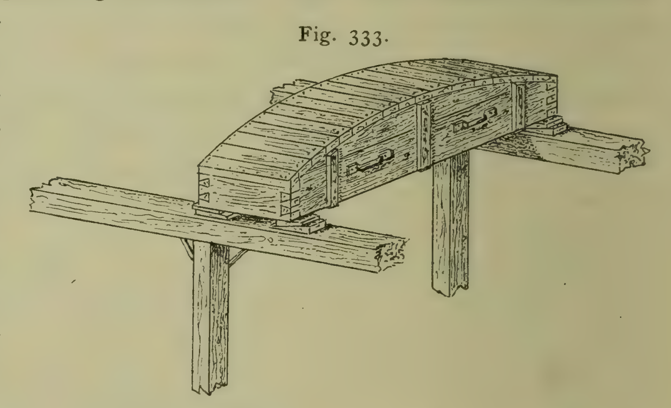
Das über die Rüftung bei Tonnengewölben Gefagte findet im Wefentlichen bei allen folchen Gewölben oder befonderen Gewölbtheilen Anwendung, die nicht eine fog. Einwölbung aus freier Hand zulaffen. Letzteres ift bei Gewölben mit fphärifchen oder fphäroidifchen Laibungsflächen der Fall. Bei diefen tritt dann die Unterftützung durch Lehrgerüfte für die Einwölbung entweder gar nicht oder in bedeutender Einfchränkung ein.

160.
Rutfchbogen.

Bei Gewölben von kleinerer Spannweite, aber verhältnifsmäfsig bedeutender Länge wird unter Umftänden auch eine Vereinfachung und billigere Herftellung des gefammten Lehrgerüftes durch Anwendung eines fog. Rutfchbogens oder Schlittens erzielt.

Unter einem Rutfchbogen (Fig. 333) verfteht man einen kurzen, feitlich lothrecht, oben nach der Wölbungsform gefchloffenen, unten aber offenen, hölzernen Kaften, welcher auf den ftützenden Rahmen oder Holmen des Unterftützungsgerüftes nach und nach dann weiter vorgerückt werden kann, fobald über dem Rutfchbogen ein kurzes Stück des Gewölbes ausgeführt ift. Selbftverftändlich ift die richtige Aufftellung und das ruhige Löfen folcher Rutfchbogen mit Hilfe von Doppelkeilen zu bewirken.

Fig. 333.



Damit die einzelnen Zonen, welche in ihrer Breite der Länge des Schlittens entfprechen, bei dem ganzen Gewölbe im Verband bleiben, ift die Stirn jeder Zone, die für fich im Gewölbeverband gemauert wird, auf Verzahnung zu ordnen. Die Länge des Schlittens darf höchftens 80 cm betragen, weil bei gröfserer Länge deffelben die Ausführung der Wölbung für die vor dem Rutfchbogen ftehenden Maurer und auch das Vorrücken deffelben unbequem wird.

Da nach der Vollendung jeder Zone bei der Anwendung des Rutfchbogens eine fofortige Ausrüftung derfelben eintreten mufs, fo ift die Einwölbung fehr forgfältig, unter Benutzung eines möglichft fchnell bindenden und erhärtenden Mörtels auszuführen.

161.
Ausführung neben einander gelegener Gewölbe.

Liegen zwei oder mehrere Tonnengewölbe, bezw. Gewölbe überhaupt mit gemeinfchaftlichen Widerlagern, mögen diefelben als Mauerwerkskörper, als Bogenftellungen oder als befondere eiferne Träger conftruirt fein, in Reihen oder fog. Jochen mit ihren Axen neben einander, fo ift zu beachten, dafs diefe Zwifchenwiderlager an fich in den feltenften Fällen eine folche Stärke erhalten, um dem

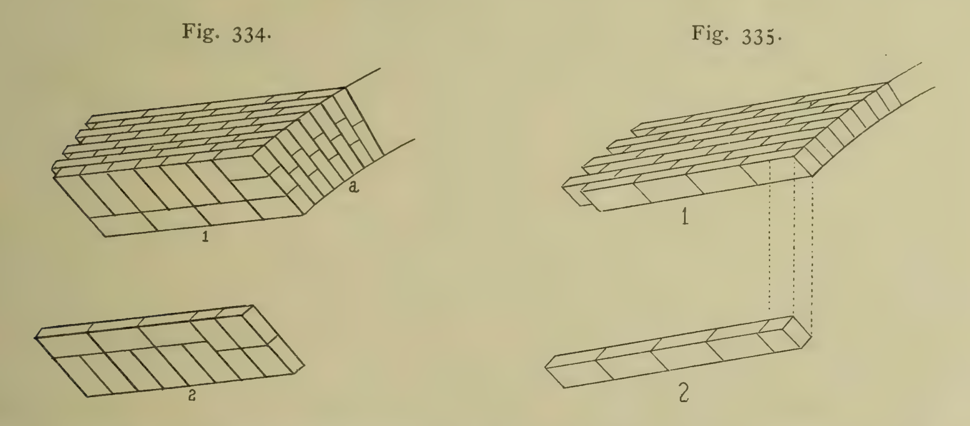
einfeitigen Schube mit Sicherheit Widerftand leiften zu können. Zur Vermeidung der Verfchiebungen diefer Zwifchenconftructionen und zur Verhinderung des damit leicht eingeleiteten Einfturzes der Gewölbe ift es immer am zweckmäfsigften, die fämmtlichen Gewölbejoche mit den nöthigen Wölbegerüften vollftändig zu verfehen und die Einwölbung in allen Jochen gleichzeitig, gleich liegend und gleichmäfsig fortfchreitend vorzunehmen. Kann man der gröfseren Koften wegen eine folche vollftändige Herrichtung der Lehrgerüfte für alle Joche nicht ausführen, fo wird erft nur für ein Joch entweder das ganze Gewölbe oder eine gewiffe Länge deffelben mit dem nothwendigen Lehrgerüfte verfehen und eingewölbt, dann das angrenzende Joch in gleicher Weife in Angriff genommen und fo bis zur Vollendung der ganzen Anlage fortgefahren. In folchen Fällen ift aber eine gründliche und kräftige Abfteifung der Zwifchenwiderlager der nicht mit Lehrgerüften verfehenen Joche oder Abtheilungen derfelben unbedingt erforderlich, da bei Vernachläffigung diefer Forderung leicht die Gefahr des Einftürzens der fertigen Gewölbtheile eintreten kann.

162.
Tonnengewölbe aus Backfteinen.

Die Ausführung der geraden Tonnengewölbe aus Backftein erfordert in erfter Linie die Berückfichtigung eines richtigen Mauerverbandes in den einzelnen Schichten und eine beftimmte Eintheilung der Wölbfchichten im Stirnfchnitte des Gewölbes, wonach ftets eine ungerade Anzahl gleich grofser Abftände für die einzelnen Wölbfcharen entftehen foll. Jede Wölbfchicht erfcheint keilförmig; die Lagerfugen ftehen fenkrecht zur Wölblinie, felten rechtwinkelig zu einer beftimmten Bedingungen gemäfs conftruirten Mittellinie des Druckes.

Für den Mauerverband der Wölbfchichten gelten die für den Steinverband der Backfteinpfeiler mit rechteckiger Grundfläche gegebenen allgemeinen Regeln, wonach meiftens zwei verfchieden angeordnete, neben einander liegende Wölbfchichten im Verbandwechfel auftreten. In Fig. 334 find für ein Stück eines 1½ Stein ftarken Tonnengewölbes die Verbände in den Schichten *1* und *2* dargeftellt, wobei nament-

Fig. 334. Fig. 335.



lich der Anfang der Wölbfchichten an der Stirnmauer des Gewölbes durch regelrechtes Einfügen von Dreiviertelfteinen zu beachten ift. Die Stofsfugen in Schnitten parallel zur Stirn find innerhalb des Gewölbkörpers *a* im Verbandwechfel ftehende, concentrifch zur Wölblinie laufende Bänder, während diefelben auf der Laibungs- und Rückenfläche im Verbandwechfel mit der Stirnlinie gleichlaufend find. Diefe Einwölbungsart wird häufig als »auf Kuf gewölbt« bezeichnet. Bei einem nur ½ Stein ftarken, auf Kuf gemauerten Tonnengewölbe find alle Wölbfcharen Läuferfchichten, deren Stofsfugen gegenfeitig um ½ Steinlänge im Verbandwechfel ftehen

(Fig. 335), während bei 1 ſtarken Tonnengewölben die neben einander liegenden Wölbſchichten nach Fig. 336 angeordnet werden.

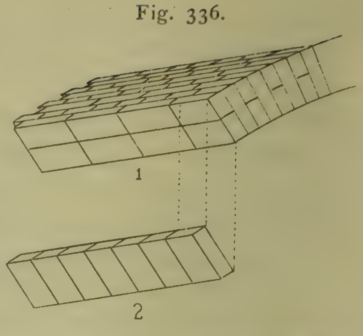


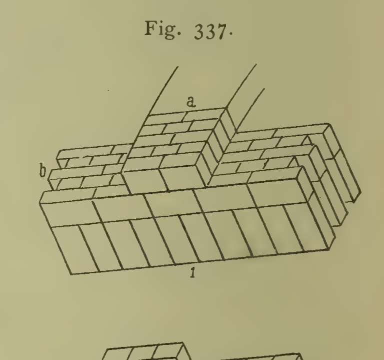
Fig. 336.

Bei Tonnengewölben, deren Stärke über $^1/_2$ Steinlänge beträgt, wird zur Erzielung keilförmiger Wölbſcharen in den meiſten Fällen ein Zuhauen der Backſteine erforderlich. Hierbei iſt auf der Rückenlinie des Gewölbes die Stärke der Wölbſchicht der Backſteindicke gleich zu laſſen, ſo daſs die Zuſchärfung der Steine nach der Laibungsfläche gerichtet iſt. Wollte man ſog. Lochſteine zum Einwölben verwenden, ſo iſt ein Zuhauen derſelben miſslich. Durchaus verwerflich iſt die Anordnung ſtark keilförmig genommener Mörtelbänder als Lagerfugen, welche dann an der Laibungsfläche dünn, an der Rückenfläche jedoch oft unverhältniſsmäſsig dick auftreten, um hierdurch ein Zuhauen der Wölbſteine zu umgehen. Am beſten iſt die Verwendung fertig gebrannter keilförmiger Barnſteine, deren Geſtaltung von vornherein dem auszuführenden Tonnengewölbe entſprechend gebildet wurde.

Bei ſehr ſtarken Tonnengewölben iſt die in Art. 149 (S. 218) erwähnte und näher beſprochene Einwölbung, beſtehend aus einzelnen Schalen oder Ringen, geeignet, um ein Zuhauen der Steine aller Wölbſchichten zu vermeiden.

Für weniger ſtarke oder auch für ſehr lange, ſonſt ſelbſt ſtärker bemeſſene Tonnengewölbe aus Backſtein iſt das Anbringen von Verſtärkungsrippen oder Gurten *a* (Fig. 337), welche bei kleineren ſchwächeren Gewölben in Abſtänden von 1,5 bis 2,0 m, bei ſtärkeren Gewölben in Weiten von 3,0 bis 4,0 m wiederkehren und mit dem Gewölbkörper *b* nach der Anordnung der Schichten *1* und *2* im Verbande ſtehen, zu empfehlen. Dieſe Rippen können entweder an der Laibungsfläche oder an der Rückenfläche vortreten. Im erſteren Falle iſt beim Aufſtellen der Rüſtbogen des Gewölbes aber für dieſe Gurte eine beſondere Einrüſtung nothwendig, was, als weniger bequem, im letzteren Falle vermieden wird.

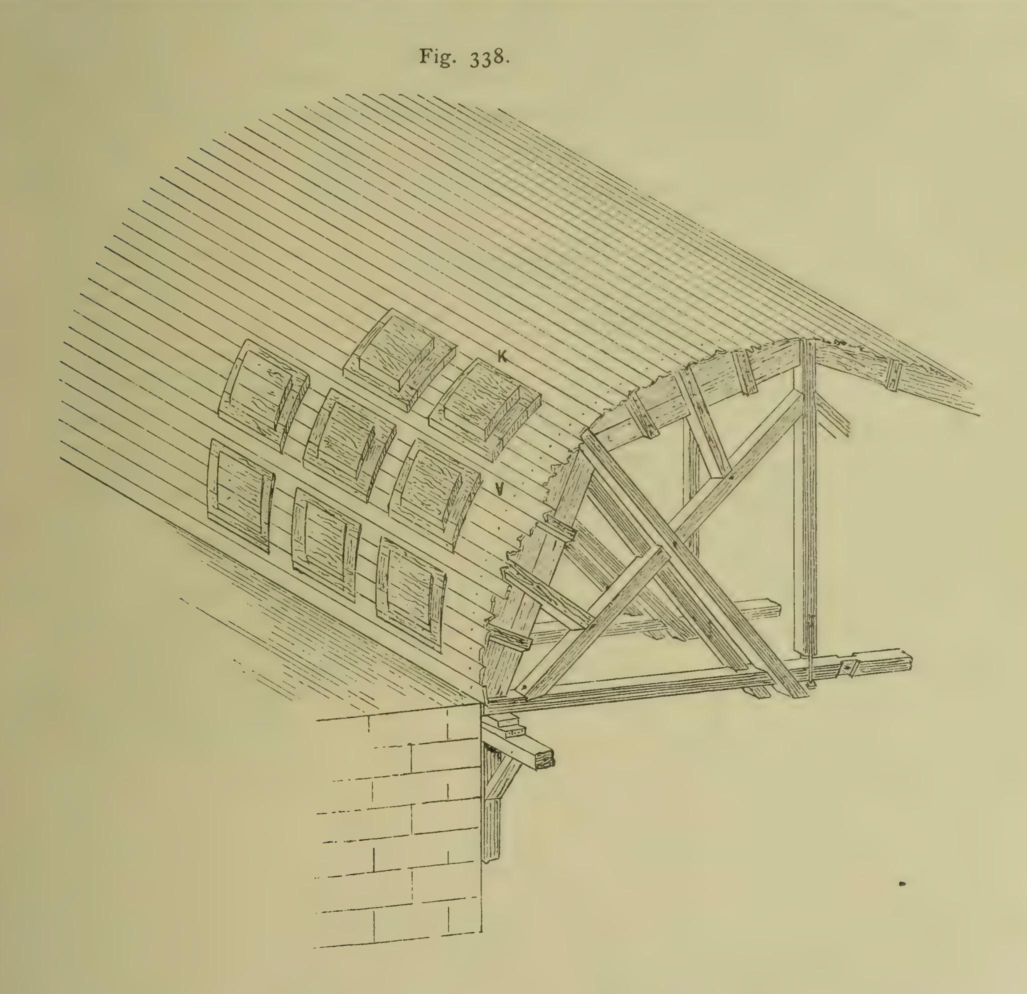
Fig. 337.



Bei ſchwächeren Gewölben treten dieſe Rippen als wirkliche Gewölbverſtärkungen und zuweilen als Träger von Unterlagen der über dem Gewölbe befindlichen, nur leicht zu belaſtenden Fuſsböden auf, während bei gröſseren, langen Tonnengewölben dieſe Rippen, wenn dieſelben unten an der Laibungsfläche vorſpringen, eine dem Auge angenehme Gliederung der Gewölbfläche bewirken und bei langen Gewölben mit wagrechter Scheitellinie den Eindruck verwiſchen, als ob dieſe Scheitellinie ſich nach unten geſenkt hätte. Hier möge bemerkt werden, daſs die in vielen Lehrbüchern aufgenommene und häufig wiederkehrende Angabe, wonach Tonnengewölbe bis zu 4 m Spannweite, welche keine weitere Belaſtung, als höchſtens diejenige der Fuſsböden gewöhnlicher Wohnräume aufzunehmen haben, nur $^1/_2$ Stein Stärke, bei gröſserer Spannweite Verſtärkungsrippen von 1 Stein Breite und Höhe in Entfernungen von 1,5 bis 2,0, bezw. 2,5 m und erſt bei 6 m Spannweite 1 Stein Stärke nebſt Verſtärkungsrippen von $1^1/_2$ Stein Höhe und Breite erhalten ſollen, mit gröſster

Vorficht zu betrachten ift. Bei derart fchwach ausgeführten Tonnengewölben müffen neben ausgezeichneter Arbeit vorzügliches Steinmaterial und vortrefflichfter Mörtel zur Geltung kommen, und dennoch treten in diefen Tonnengewölben fchon bei 4 m Spannweite leicht Verdrückungen, felbft bei guter Ausmauerung der Zwickel, auf. Die Weite von 4 m wird beffer auf höchftens 3 m befchränkt. Auch ift zu berückfichtigen, dafs, wenn überhaupt über dem Gewölbe ein Fufsboden hergerichtet ift, derfelbe unter Umftänden mit weit ftärkerer Belaftung verfehen wird, als folche bei der Bezeichnung »Belaftung gewöhnlicher Wohnräume« urfprünglich angenommen

Fig. 338.



war. Die Decken-Conftruction foll aber in jedem Falle bei der möglichft ungünftigften Beanfpruchung ftandfähig fein, und hiernach ift, wie früher gezeigt, die ftatifche Unterfuchung zu führen und die Gewölbftärke fowohl für die Gurte, wie für das Gewölbe felbft zu beftimmen.

Wird ein Backfteingewölbe nach der Widerlagsfuge hin verftärkt, fo foll diefe Verftärkung vom Scheitel bis zum Gewölbfufse ftetig und ohne fchroffe Abfätze erfolgen, felbft wenn hierbei ein mäfsiges Verhauen und Kürzen der Wölbfteine an der Rückenfläche des Gewölbes vorzunehmen ift; denn hierdurch wird ein günftigerer Verlauf der Mittellinie des Druckes erzielt.

Dem Einwölben mit Backftein »auf Kuf« fteht die allerdings mehr bei flach-

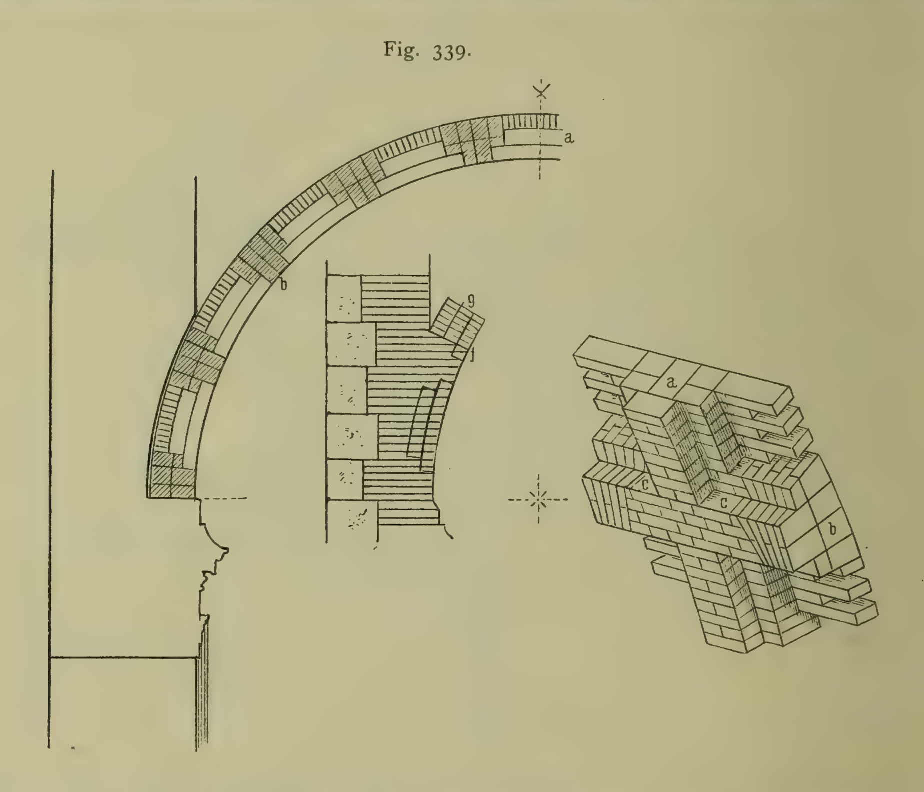
bogigen Gewölben angewandte Verbandart »auf Schwalbenfchwanz« oder »auf Stich« gegenüber. Diefe foll bei den Kappengewölben näher befprochen werden.

163. Caffettirte Tonnengewölbe.

Um die Laibungsfläche eines Tonnengewölbes, abgefehen von einem Schmuck durch Bemalung, fchon in der Conftruction felbft architektonifch zu gliedern und reicher zu geftalten, verfieht man das Gewölbe mit künftlerifch geformten und regelrecht geordneten, durch ftaffelartig angelegte Umrahmungen begrenzte Füllungen, Vertiefungen oder mit fog. Caffetten.

Bei der Ausführung derartiger caffettirter Tonnengewölbe werden nach Fig. 338 auf der vollftändigen Verfchalung *V* der Wölbbogen, der Caffettenanordnung entfprechend, Holzkaften *K* befeftigt, fo dafs hierdurch die Grundlage für die Mauerung des Gewölbes gefchaffen ift. Diefe Holzkaften find nach oben fchwach verjüngt, alfo als mäfsig abgeftumpfte Pyramiden zu bilden, damit beim Löfen des Wölb-

Fig. 339.



gerüftes ein leichtes Nachfolgen der Caffettenkaften und kein Hängenbleiben derfelben im Gewölbe ftattfinden kann. In fehr zweckmäfsiger Weife können nach einem von *Moller* angegebenen Verfahren nach Fig. 339 die Querrippen *a* der Caffetten als Stücke von Tonnengewölben, die Längsrippen *b* als Beftandtheile des Gewölbes in der Anordnung eines die Querrippen verfpannenden fcheitrechten Bogens ausgeführt werden, wobei das Zwifchenftück *c* ordnungsmäfsige Widerlagsflächen zu bieten hat. Der obere Abfchlufs der Caffetten kann dabei in der Anordnung entweder derjenigen eines $^1/_2$ Stein ftarken Tonnengewölbes oder eines $^1/_2$ Stein ftarken fcheitrechten Gewölbes entfprechen. In Fig. 339 ift die erfte Einwölbungsart beibehalten.

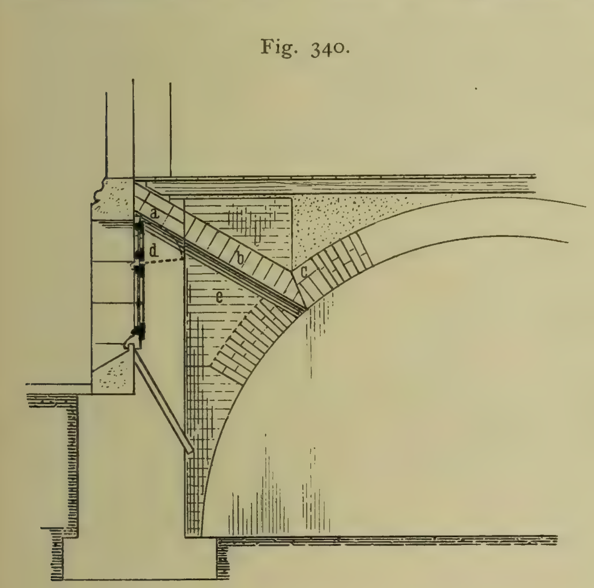
Soll ein caffettirtes Tonnengewölbe bis zu einer um etwa 60 Grad zum Scheitellothe geneigten Fuge *f*, welche dann zweckmäfsig mit der unteren Fugen-

richtung der Caſſette *g* zuſammenfällt, ein wagrecht vorgemauertes Widerlager erhalten, ſo iſt, wie Fig. 339 zeigt, auch die tiefſte Caſſette in wagrechter Schichtenmauerung auszuführen.

164. Tonnengewölbe mit Stichkappen.

Da bei Tonnengewölben an und für ſich die Pfeilhöhe ein beträchtliches Maſs erreicht, alſo die Conſtructionshöhe, einſchl. der Gewölbſtärke und der Höhe bis zur Oberkante des darüber befindlichen Fuſsbodens ziemlich groſs wird, da ferner die Stirnmauern der Tonnengewölbe häufig nicht für die Anlage von Oeffnungen zur Beleuchtung durch Tageslicht bei den mit Tonnengewölben zu überdeckenden Räumen benutzt werden können, ſo ſind bei beſchränkter Conſtructionshöhe derartige Lichtöffnungen in den Widerlagsmauern des Gewölbes anzubringen. Dieſe Lichtöffnungen ſind bei den meiſten Anlagen in ihren oberen Begrenzungen weit über dem Gewölbefuſs abzudecken. Für die Breite dieſer Lichtöffnungen muſs im Tonnengewölbe freier Platz geſchaffen, alſo das Gewölbe ſelbſt gleichſam an dieſen Stellen ausgeſchnitten werden. Nach der Annahme dieſes Ausſchnittes würde aber für die Weite deſſelben ein Widerlager des angrenzenden Gewölbtheiles fehlen. Für dieſes Widerlager iſt ein ſelbſtändiger Gewölbtheil, der ſog. Kranz *c* (Fig. 340), in das Hauptgewölbe einzufügen, und ferner iſt zum oberen Abſchluſs der zwiſchen dem Gewölbekranze und der Lichtöffnung *d* verbleibenden Oeffnung ein beſonderes kleines Gewölbe, eine ſog. Stichkappe *b*, welche in das Hauptgewölbe geſteckt wird, herzuſtellen. Die an beiden Seiten der Oeffnung, dem ſog. Ohr, zu bewirkende Abſchlieſsung wird durch lothrecht aufgeführte, auf dem Hauptgewölbe ruhende, $^1/_2$ bis 1 Stein ſtarke Wangenmauern erzielt. Gröſstentheils gehören dieſe Wangen ſchon der Hintermauerung der Gewölbe in den Zwickeln an und ſind dann, wenn dieſe zu $^1/_3$ bis $^1/_2$ der Gewölbhöhe ausgeführte Hintermauerung die Oeffnung des Ohres noch nicht ſchlieſsen ſollte, ſtets entſprechend höher zu führen. Iſt, wie in Fig. 340 angenommen, auch der Mauerbogen *a* der inneren Laibung der Lichtöffnung geneigt anzulegen, ſo folgt derſelbe in ſeiner Neigung meiſtens der Neigung der Stichkappe *b*.

Fig. 340.



Schon in Art. 133 (S. 161) iſt der Stichkappen bei Tonnengewölben gedacht worden.

Hinſichtlich der Ausführung dieſer Stichkappen iſt zu bemerken, daſs man Stichkappen, deren Laibungen einer Cylinder-, Kegel- oder Kugelfläche angehören, von einander zu unterſcheiden hat. Vorzugsweiſe werden die cylindriſchen oder kegelförmigen, ſeltener die kugelförmigen Stichkappen in Anwendung gebracht. Bei den erſten beiden kann die Axe der zugehörigen Cylinder- oder Kegelflächen eine wagrechte oder geneigte, nach unten oder nach oben gerichtete gerade Linie ſein. Bei kugelförmigen, bezw. Kugel-Stichkappen liegt der gröſste Kreis der Kappenfläche

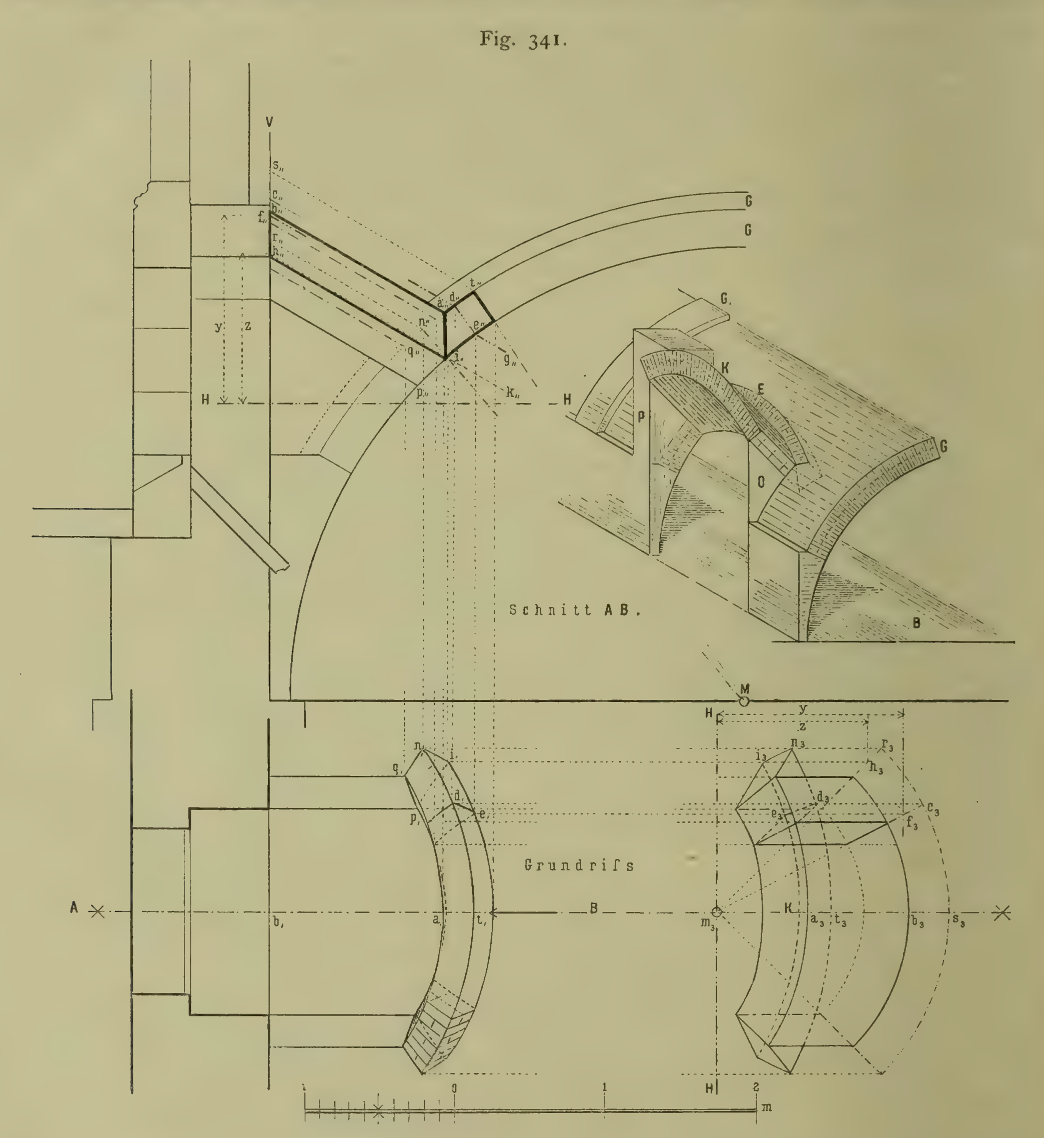
meiftens und auch zweckmäfsig tiefer, als der tieffte Punkt der inneren Kranzlinie an der Laibung des Hauptgewölbes.

165. Cylindrifche Stichkappen.

In Fig. 341 ift die Ausmittelung einer cylindrifchen Stichkappe mit geneigter Axe nebft dem Gewölbekranze, fo wie ein Bild der ganzen Anordnung gegeben.

Im Bilde find B die Kämpferebene des Tonnengewölbes, G das Gewölbe, K die cylindrifche, nach dem Gewölbe geneigte Stichkappe und E der Kranz, welcher das Widerlager für das Gewölbe der Breite

Fig. 341.



der Stichkappe entfprechend bildet; gegen denfelben lehnt fich die Stichkappe. O ift das Ohr und P die Wange der Stichkappe; G_1 ift ein Verftärkungsgurt des Hauptgewölbes.

Die Leitlinie der Stichkappe ift ein Kreisbogen mit dem Halbmeffer z, deffen Mittelpunkt in der wagrechten Ebene HH und der lothrechten Ebene V liegt. Derfelbe ift in der Hilfsfigur K mit dem Halbmeffer $m_3 d_3 = z$ gefchlagen. Die Rückenlinie ift der mit dem Halbmeffer $m_3 b_3 = y$ befchriebene, durch b_3 gehende concentrifche Kreisbogen. Die Neigung der Cylinderaxe der Stichkappe ift durch die diefer Axe parallele Erzeugende $h_{,,} i_{,,}$ gegeben.

Setzt man im Schnitte AB, nachdem $b_{,,} a_{,,}$ parallel zu $h_{,,} i_{,,}$ bis zur Rückenlinie des Gewölbes gezogen ift, die obere Stärke $a_{,,} t_{,,}$ des Kranzes fo feft, dafs die untere in der Wölbfläche liegende Stärke

deffelben etwa 1 Stein, bei kleineren Gewölben $^1/_2$ Stein beträgt, oder umgekehrt, dafs bei ftark nach unten gerichteter Stichkappe $a_{,,} t_{,,}$ felbft gleich diefen Abmeffungen genommen wird, fo ift durch die von $t_{,,}$ nach M geführte Gerade und durch die Linien $t'' a''$ und $a'' i''$, fo wie ein Stück der inneren Wölblinie des Hauptgewölbes, gleich der unteren Stärke des Kranzes, begrenzte Figur der in der lothrechten Ebene AB liegende Querfchnitt des Kranzes.

Legt man durch t'' eine Erzeugende $t'' s''$ parallel zu der Cylinderaxe, bezw. zu $h_{,,} i_{,,}$, fo gehört diefelbe einem ideellen Cylinder an, deffen Leitlinie der um m_3 in der Hilfsfigur befchriebene Kreisbogen mit dem Halbmeffer $m_3 s_3$ ift, wobei s_3 hier fo hoch über HH liegt, wie die Lage von $s_{,,}$ im Schnitte AB über HH ergeben hat.

Sind fomit für die Stichkappe und für den Kranz die nöthigen Cylinderflächen beftimmt, fo laffen fich mit Hilfe der darftellenden Geometrie auf leichte Weife auf dem aus der Zeichnung erfichtlichen Wege die fämmtlichen Begrenzungslinien des Kranzes, welche als Durchfchnittslinien der einzelnen cylindrifchen Flächen mit den unteren und oberen Flächen des Tonnengewölbes auftreten, in den drei hier gewählten Projectionen beftimmen. Die von $p_,$ und $i_,$ auslaufenden Curven gehören der inneren Wölbfläche, die von $q_,$ und $n_,$ fortziehenden Begrenzungslinien gehören der Rückenfläche des Hauptgewölbes an.

Eben fo läfft fich mittels der Projection der Erzeugenden, welche durch $f_{,,}$, bezw. f_3 und $c_{,,}$, bezw. c_3 gelegt find, eine Fuge $d_, e_,$ des Kranzes und danach die in der Figur für $d_, e_,$ angedeutete Fugenfläche beftimmen, wobei nur zu beachten, dafs in der Hilfsfigur d_3 auf der durch n_3 gehenden Durchdringungslinie der Rückenlinie der Stichkappe und der Rückenlinie des Hauptgewölbes liegt, während e_3 der Durchfchnittspunkt der durch f_3, bezw. $f_{,,}$ gehenden Erzeugenden mit der inneren Wölblinie ift und fich auf der durch $i_,$ laufenden Kranzlinie befindet. Die Lagerfugen des Kranzes gehören lothrechten Ebenen an, deren Spuren in der Hilfsfigur als $m_3 r_3$ und $m_3 c_3$ gezeichnet find.

Der Kranz an fich wird aus Backftein unter Wahrung der fo beftimmten Lagerfugen auf Verband gemauert und gleichzeitig mit dem Hauptgewölbe, wobei auf der Schalung die inneren durch p_1 und i_1 gehenden Durchdringungslinien vorgezeichnet find, ausgeführt. Die Wangen für die Stichkappen und danach die Stichkappen felbft können nach Vollendung des Hauptgewölbes oder gleichzeitig mit demfelben hergerichtet werden.

Für die Stichkappen wird in den meiften Fällen eine Verfchalung, welche fich unmittelbar auf die Schalung des Hauptgewölbes legt und die an ihrer Schmieglinie der inneren Durchdringungslinie p_1 folgt, angebracht. Bei untergeordneten Anlagen wird ftatt folcher Schalung für die Laibungsfläche der Stichkappe auch hin und wieder ein oben entfprechend abgeformter, zwifchen den aufgeführten Wangen liegender Erdhügel, aus thonigem Sande beftehend, auf die Schalung des Hauptgewölbes gebracht und diefer als Lehre für die Stichkappe benutzt.

166.
Kegelförmige Stichkappen.

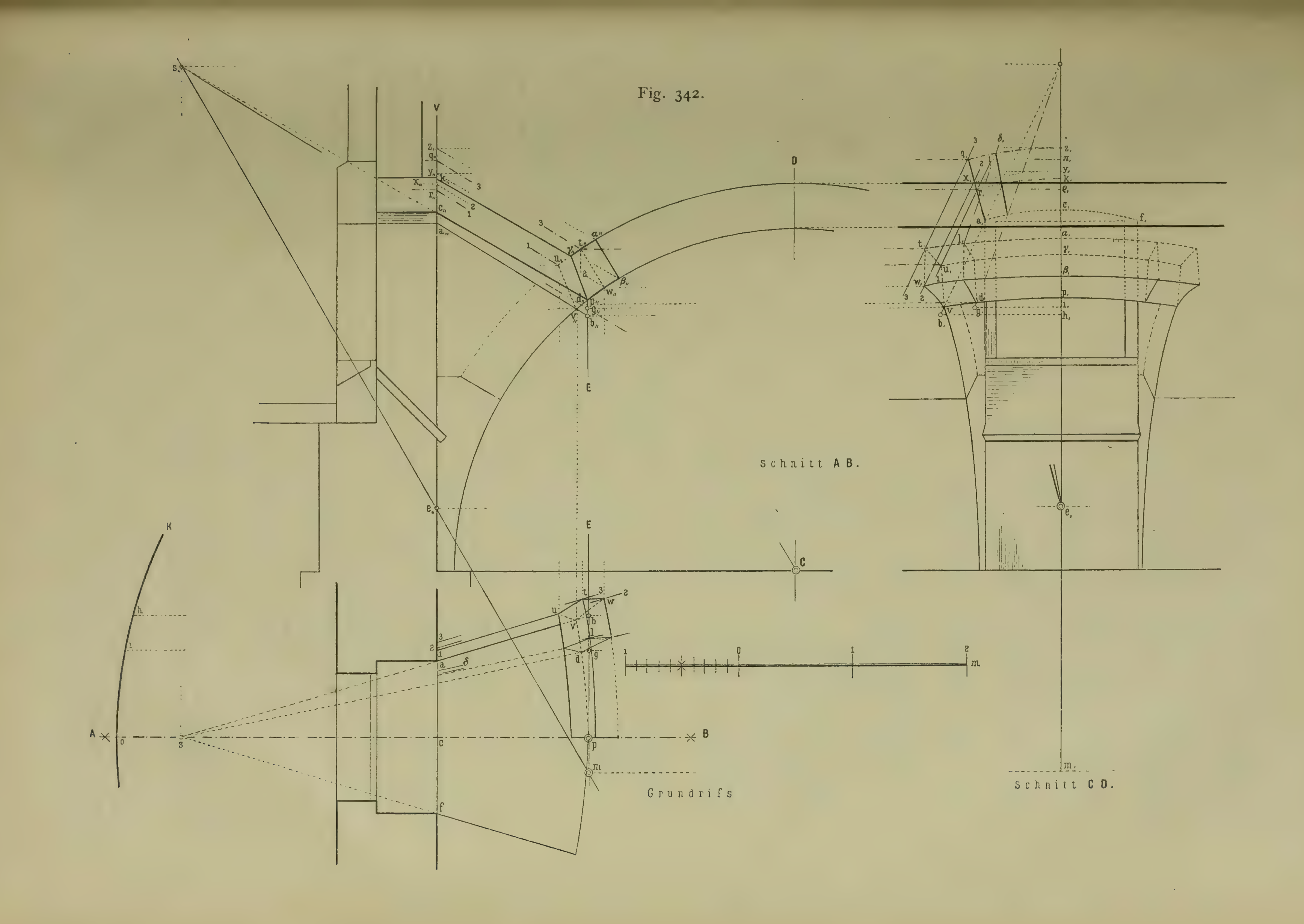
Bei den kegelförmigen Stichkappen find gleichfalls zuerft die Durchfchnittslinien der Laibungs-, bezw. Rückenflächen des Hauptgewölbes mit den entfprechenden Kegelflächen der Stichkappe zu ermitteln.

In Fig. 342 ift die Zeichnung für eine Stichkappe mit anfteigender Kegelfläche gegeben.

Die Axe der inneren Kegelfläche ift im lothrechten Schnitte AB die Gerade $s_{,,} m$. Ihre Grundrifs-Projection ift sp; ihre Projection im Schnitte CD ift $s_, m_,$. Das weitere Feftlegen diefer Kegelfläche ift durch die Beftimmung erfolgt, dafs die höchfte Seitenlinie derfelben durch den höchften Punkt $c_,$ des inneren Laibungsbogens $a_, c_, f_,$ der Fenfteröffnung gehen foll. Diefer Bogen befitzt nach der Darftellung im Schnitte CD den auf der Kegelaxe gelegenen Punkt $e_,$ als Mittelpunkt; die Projection diefes Punktes in der Ebene V des Schnittes AB ift $e_{,,}$.

Betrachtet man diefen Bogen $a_, c_, f_,$ als Theil eines in der lothrechten Ebene V gelegenen Kreifes, fo erfieht man, dafs die für die Laibungsfläche der Stichkappe benutzte Kegelfläche einem fchiefen Kegel angehört, bei welchem die Axe $s_{,,} m$ mit der in der Ebene V enthaltenen Geraden $Ve_{,,}$ den Winkel $Ve_{,,} s_{,,}$ einfchliefst. Jede parallel mit der Ebene V geführte Ebene fchneidet die Kegelfläche nach einem Kreife. Die höchfte Erzeugende ift im Schnitte AB als die Gerade $s_{,,} c_{,,} p_{,,}$ eingetragen. Der Punkt $p_{,,}$ gehört der inneren Wölblinie des Hauptgewölbes an, ift alfo ein gemeinfchaftlicher Punkt des Hauptgewölbes und der inneren Laibungsfläche der Stichkappe.

Fig. 342.



Eine durch $p_{,,}$ geführte lothrechte Ebene E liefert als Kegelfchnitt einen Kreis mit dem Halbmeffer $m p_{,,}$. Ein Stück diefes Kreifes ift im Grundrifs AB als Bogen K niedergelegt. Der Mittelpunkt desfelben ift die wagrechte Projection des Punktes m, alfo der Punkt p, und hiernach ift $po = p_{,,}m$ zu nehmen. Die für die Stichkappe in Frage kommende tieffte Seitenlinie des Kegels ift als Strahl sb im Grundrifs gekennzeichnet. Derfelbe mufs durch den tiefften Punkt $a_{,}$ der Bogenlinie $a_{,}c_{,}f_{,}$, der Fenfteröffnung, gehen. Da der Punkt a im Grundriffe diefem tiefften Punkte $a_{,}$ zukommt, fo ift die Lage der bezeichneten tiefften Erzeugenden in ihrem Beginne durch sa beftimmt. Diefe Erzeugende trifft, gehörig erweitert, den in der Ebene EE gelegenen Kegelkreis im Punkte b. Die Ordinate diefes Punktes ift mit Hilfe des Kreifes K als bh auszumeffen. Trägt man diefe Länge bh von m als $mb_{,,}$ in der Lothrechten EE ab, fo ift $s_{,,}b_{,,}$ die Aufrifs-Projection der gefuchten Erzeugenden. Diefelbe durchftöfst die Laibungsfläche des Tonnengewölbes in einem Punkte, deffen Projectionen $v_{,,}$ und v auf den entfprechenden Kegelerzeugenden, deren Projectionen in $s_{,,}b_{,,}$ und sb find, nunmehr leicht gefunden werden können. Durch $v_{,,}p_{,,}$ und vp zieht die innere tieffte Durchdringungslinie der Kegelfläche der Stichkappe mit der cylindrifchen Fläche des Hauptgewölbes.

Um noch irgend einen Punkt diefer Durchdringungslinie in feinen Projectionen zu erhalten, ift im Grundrifs die beliebig genommene Kegelerzeugende sg gezogen, die Ordinate gi des Endpunktes diefer Seitenlinie im Kreife K von m nach $g_{,,}$ im Schnitte AB abgetragen und die Gerade $s_{,,}g_{,,}$ geführt. Diefelbe liefert den Durchftofspunkt $d_{,,}$ im Aufrifs, wonach d im Grundrifs auf sg und $d_{,}$ im Schnitte CD beftimmt werden kann.

Die Rückenfläche der Stichkappe gehört gleichfalls einem fchiefen Kegel an, deffen Axe mit der Axe des Kegels der inneren Laibungsfläche zufammenfällt und deffen Leitlinie ein in der Ebene V gelegener Kreis ift, welcher dem Grundkreife des erften Kreifes concentrifch ift. Nimmt man die rechtwinkelig auf $c_{,,}p_{,,}$ abzufetzende Stärke der Stichkappe als Abftand der beiden parallelen Geraden $c_{,,}p_{,,}$ und $k_{,,}\gamma_{,,}$ im Schnitte AB z. B. gleich 1 Steinlänge an, fo ift $e_{,,}k_{,,}$ der Halbmeffer des Grundkreifes für den Kegel der Rückenfläche der Stichkappe. Im Schnitte CD ift der mit dem Halbmeffer $e_{,}k_{,} = e_{,,}k_{,,}$ um $e_{,}$ befchriebene Bogen $k_{,}r_{,}$ ein Stück diefes Grundkreifes. Daffelbe ift durch eine den Punkt $a_{,}$ und die Kegelaxe enthaltene Ebene begrenzt, welche die Ebene V in einer Geraden fchneidet, die im Punkte $a_{,}$ fenkrecht zum Bogen $a_{,}c_{,}f_{,}$ fteht. Der Punkt $r_{,}$ ift ein Grenzpunkt. Jede durch die beiden Kegelflächen gemeinfchaftlich angehörende Axe geführte Ebene fchneidet diefelben in Seitenlinien, welche vermöge der concentrifchen Grundkreife und der Annahme des Parallelismus der höchften Erzeugenden $c_{,,}p_{,,}$ und $k_{,,}\gamma_{,,}$ unter einander gleichfalls parallel find.

Verbindet man im Schnitte AB die Punkte $\gamma_{,,}$ und $p_{,,}$ durch eine gerade Linie, nimmt man $p_{,,}\beta_{,,}$ oder, bei ftark geneigten Stichkappen, $\gamma_{,,}\alpha_{,,}$ gleich der zu wählenden Breite des Kranzes, z. B. bei Backfteingewölben je nach der gröfseren oder kleineren Spannweite der zufammentretenden Gewölbe zu 1, bezw. $1/2$ Steinlänge an, zieht man darauf $\beta_{,,}\alpha_{,,}$ bezw. $\alpha_{,,}\beta_{,,}$ fenkrecht zur Wölblinie des Hauptgewölbes, fo ift $\alpha_{,,}\beta_{,,}p_{,,}\gamma_{,,}$ im Schnitte AB der lothrechte Schnitt des Kranzes.

Die Punkte $\beta_{,,}$ und $\alpha_{,,}$ find wiederum als Punkte weiterer Kegelflächen anzufehen, deren Axen mit der urfprünglichen Kegelaxe zufammenfallen und welche eben fo beftimmt werden können, wie folches bei der Kegelfläche des Rückens der Stichkappe gezeigt ift. Zieht man $\beta_{,,}y_{,,}$, bezw. $\alpha_{,,}z_{,,}$ parallel zu $c_{,,}p_{,,}$, fo find $e_{,,}y_{,,}$, bezw. $e_{,,}z_{,,}$ die Halbmeffer der zugehörigen Grundkreife. Diefelben find, fo weit die erweiterte Normale ar im Schnitte CD folches bedingt, ftückweife als $y_{,}x_{,}$, bezw. $z_{,}q_{,}$ gezeichnet. Nach diefen Ermittelungen läfft fich nun die Anfchlufsfläche des Kranzes im Hauptgewölbe näher angeben.

Die Projectionen diefer Fläche find im Grundriffe als $uvwt$, im Schnitte AB als $u_{,,}v_{,,}w_{,,}t_{,,}$ und im Schnitte CD als $u_{,}v w_{,}t_{,}$ dargeftellt. Von diefen Eckpunkten der Fläche find bereits v, $v_{,,}$ früher beftimmt.

Um die Punkte $u_{,}$, $u_{,,}$, u, zu erhalten, ift das Folgende zu bemerken. Nach dem Schnitte CD gehört der Punkt $u_{,}$ der durch $b_{,}a_{,}r_{,}$ gehenden Ebene und ferner einer durch $r_{,}$ gehenden Erzeugenden 11 an, welche, wie oben bemerkt, zur Seitenlinie $s_{,}a_{,}$ des urfprünglichen Kegels der Laibungsfläche der Stichkappe parallel fein mufs. Im Schnitte AB entfpricht dem Punkte $r_{,}$ der Punkt $r_{,,}$. Zieht man $r_{,,}u_{,,}$ parallel zu $s_{,,}a_{,,}$, fo ift $u_{,,}$ auf der Rückenlinie des Hauptgewölbes gefunden; führt man im Schnitte CD die Gerade 11 parallel zu $s_{,}a_{,}$, fo liegt $u_{,}$, entfprechend $u_{,,}$, auf diefer Geraden. Die rechtwinkelige Entfernung des Punktes $r_{,}$ vom Lothe $s_{,}e_{,}$ ift gleich $\rho_{,}r_{,}$. Trägt man im Grundriffe die Strecke $c1 = \rho_{,}r_{,}$ ab und zieht man hier wiederum 11 parallel zu sa, fo ift der Punkt u, entfprechend $u_{,,}$ auf 11 zu finden. In gleicher Weife ift für die übrigen Punkte zu verfahren. Die Punkte $t_{,}$, $t_{,,}$, t gehören den Erzeugenden 22 an, für welche zunächft der Punkt $x_{,}$ im Schnitte CD mafsgebend wird. Die Punkte $w_{,}$, $w_{,,}$, w kommen den Erzeugenden 33 zu, für welche alsdann der Punkt $q_{,}$ im Schnitte CD grundlegend wird. Da alle Punkte der zu beftimmenden Fläche in der durch die Kegelaxe gehenden

Ebene, welche die Gerade $a_, r_,$ enthält, liegen müffen, fo find die Erzeugenden *22*, bezw. *33* parallel den zugehörigen Seitenlinien $s_, a_,$, bezw. $s_{,,} a_{,,}$, bezw. $s a$.

Für eine beliebige Lagerfugenfläche, welche im Schnitte *CD* durch $d_, l_,$ bezeichnet ift, gilt diefelbe Art der Beftimmung.

Führt man im Schnitte *CD* eine beliebige der Ebene $a_, q_,$ benachbarte Ebene durch die Kegelaxe, fo zieht durch den betreffenden Schnittpunkt diefer Ebene mit dem Kreisbogen $a_, c_, f_,$ eine Erzeugende $s_, g_,$, zu welcher dann alle übrigen Erzeugenden, die für die Eckpunkte der Lagerfugenfläche in Betracht gezogen werden müffen, parallel zu legen find. Für den Punkt $l_,$ ift alfo die Erzeugende δ_1 parallel zur Geraden $s_, g_,$. Für die übrigen Punkte der Lagerfugenfläche ift die Zeichnung nicht weiter durchgeführt, da das Nöthige bei der Anfatzfläche des Kranzes mitgetheilt ift.

Die kegelförmigen Stichkappen find vermöge ihrer Verbreiterung nach dem Hauptgewölbe zu für die Beleuchtung der mit folchen Decken verfehenen Räume durch Tageslicht günftig. Ihre Einwölbung erfolgt bei Backfteingewölben zweckmäfsig auf Schwalbenfchwanz oder nach dem fog. *Moller*'fchen Verbande (Fig. 343), wobei die Lagerfugen in Ebenen parallel zur Stirn der Stichkappe liegen, weil bei der Einwölbung auf Kuf durch das Divergiren der Lagerfugenflächen in den meiften Fällen ein zu ftarkes Verhauen der Backfteine durch das Zufpitzen der Wölbfteine vom Kranze nach der Fenfteröffnung hin eintreten müffte.

Fig. 343.

167.
Kugel-
Stichkappen.

Bei den Kugel-Stichkappen gehört die Laibungsfläche einem beftimmten Theile einer Kugelfläche an. Fig. 344 giebt die Anlage einer Kugel-Stichkappe an der Schildmauer eines Tonnengewölbes mit dem zugehörigen Kranze im Grundrifs, Aufrifs und in einem Meridionalfchnitte *MM*. Die Anfatz- oder Widerlagsflächen des Kranzes müffen an den Stirnmauern liegen. Daffelbe gilt auch für folche cylindrifche oder kegelförmige Stichkappen. Würde bei diefen Anlagen der Kranz fein Widerlager im Hauptgewölbe entfernt von der Schildmauer erhalten, fo wären mehrere Schichten deffelben ohne Widerlager; auch könnten die verbleibenden Seitenöffnungen der Stichkappe nicht durch Wangenmauern, welche auf den widerlagslofen Schichten ruhen müfften, gefchloffen werden. Unfchön und nicht empfehlenswerth ift ferner ein allmähliches Emporziehen der Wölbfcharen nach der Abfchlufslinie einer in der Stirnmauer befindlichen Licht- oder Thüröffnung.

Bei der in Fig. 344 gegebenen Kugel-Stichkappe ift in erfter Linie die Beftimmung des Kranzes von Bedeutung. Der Mittelpunkt der Kugel liegt in der Ebene der Stirnmauer. Die Kugelfläche der Stichkappe befitzt in ihrem gröfsten Kreife den durch $o_{,,}$ im Aufrifs geführten Abfchlufsbogen einer Maueröffnung, deffen Mittelpunkt $m_{,,}$ gleichzeitig die lothrechte Projection des Mittelpunktes der Kugel ift. Diefem entfprechen die Punkte $m_,$, bezw. m_3 im Grundriffe und im Schnitte *MM*. Die durch $m_{,,} m_3$ gelegte wagrechte Ebene *HH* enthält ebenfalls den gröfsten Kreis der Kugel. Erweitert man den durch $o_{,,}$ gehenden Kreisbogen, fo fchneidet derfelbe die innere Wölblinie des Hauptgewölbes im Punkte $f_{,,}$. Die wagrechte Projection diefes Durchftofspunktes ift $f_,$, und die lothrechte Projection deffelben im Schnitte *MM* ift f_3.

Nimmt man im Aufriſs $o_{\prime\prime} p_{\prime\prime}$ gleich der Stärke der Kugel-Stichkappe, ſo iſt dieſe in der Meridianebene VV gelegen, bezeichnet alſo die normale Stärke dieſer Kappe. Der mit $m_{\prime\prime} p_{\prime\prime}$ und $m_{\prime\prime}$ geſchlagene Kreis trifft die Rückenlinie des Hauptgewölbes in $g_{\prime\prime}$, wonach weiter $g_{\prime}$ im Grundriſs und g_3 im

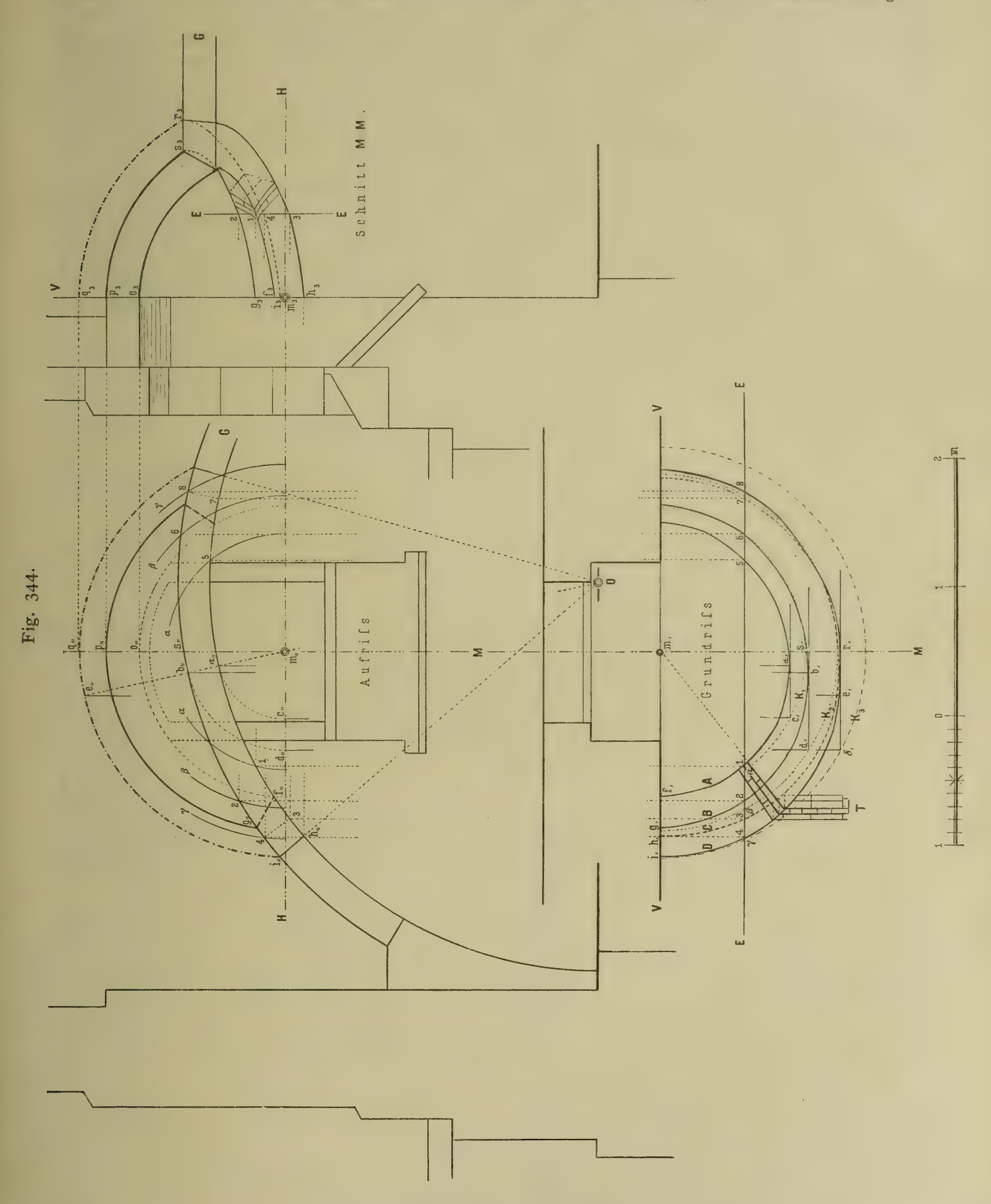


Fig. 344.

Schnitte MM beſtimmt werden können. Auſserdem ergeben die geraden Linien $f_{\prime} g_{\prime}$, $f_{\prime\prime} g_{\prime\prime}$, $f_3 g_3$ eine Begrenzungslinie vom Anſatze des Kranzes.

Setzt man im Aufriſs $g_{\prime\prime} i_{\prime\prime}$ oder $f_{\prime\prime} h_{\prime\prime}$ als Stärke des Kranzes feſt und zieht man $i_{\prime\prime} h_{\prime\prime}$ normal zur Wölblinie, hier alſo radial durch O, ſo ergiebt ſich in $f_{\prime\prime} g_{\prime\prime} i_{\prime\prime} h_{\prime\prime}$ die lothrechte Projection der An-

fatzfläche des Kranzes. Die Projectionen derfelben im Grundrifs und im Schnitt *MM* find danach leicht zu ermitteln.

In ganz gleicher Weife ift die zweite Anfatzfläche bei *G* zu zeichnen.

Um für die Kranzlinie weitere Punkte, welche in Fig. 344 durchweg mit *1*, *2*, *3*, *4* bezeichnet find, feft zu legen, find die für die Punkte $o_{,,}$, $p_{,,}$ und $q_{,,}$ geltenden Halbmeffer der ihnen zukommenden Kugelflächen benutzt, um im Grundrifs diefe Kugelflächen zu kennzeichnen. Um $m_{,}$ ift der Halbkreis $K_{,}$ mit dem Halbmeffer $m_{,,} o_{,,}$, der Halbkreis K_2 mit dem Halbmeffer $m_{,,} p_{,,}$ und endlich der Halbkreis K_3 mit dem Halbmeffer $m_{,,} q_{,,}$ gefchlagen. Führt man eine beliebige lothrechte Ebene nach *EE* parallel zur Stirnebene *VV* durch die Kugel-Stichkappe und das Hauptgewölbe, fo erhält man im Grundrifs der Reihe nach die Schnittpunkte $\alpha \beta \gamma$ diefer Ebene mit den angegebenen Kugelkreifen K_1, K_2, K_3.

Sucht man im Aufrifs in der Spur *HH* der wagrechten Mittelpunktsebene die Projectionen diefer Punkte auf, fo gehen durch diefe Punkte die Kreife α, β, γ, welche offenbar die lothrechten Projectionen der Schnittlinien der einzelnen Kugelflächen mit der durch *EE* geführten Ebene find. Der Kreis α gehört der Laibungsfläche der Kugel-Stichkappe an; derfelbe durchftöfst die innere Wölblinie im Punkte *1*. Der Kreis β kommt der Rückenlinie der Stichkappe zu; fein Durchftofspunkt mit der Rückenlinie des Hauptgewölbes liefert den Punkt *2*. Der Kreis γ dagegen ift der äufserften oberen Begrenzungslinie des Kranzes angehörig; derfelbe fchneidet die Rückenlinie des Gewölbes im Punkte *4*.

Zieht man endlich den Strahl *4 O*, fo liefert derfelbe den Punkt *3*, welcher der äufserften unteren Begrenzungslinie des Kranzes zuzuweifen ift. Nachdem im Aufrifs die Punkte *1*, *2*, *3*, *4* ermittelt find, können die entfprechenden Punkte im Grundrifs und im Schnitt *MM* in einfacher Weife beftimmt werden. Durch daffelbe Verfahren find auch die Punkte *5*, *6*, *7*, *8* gefunden.

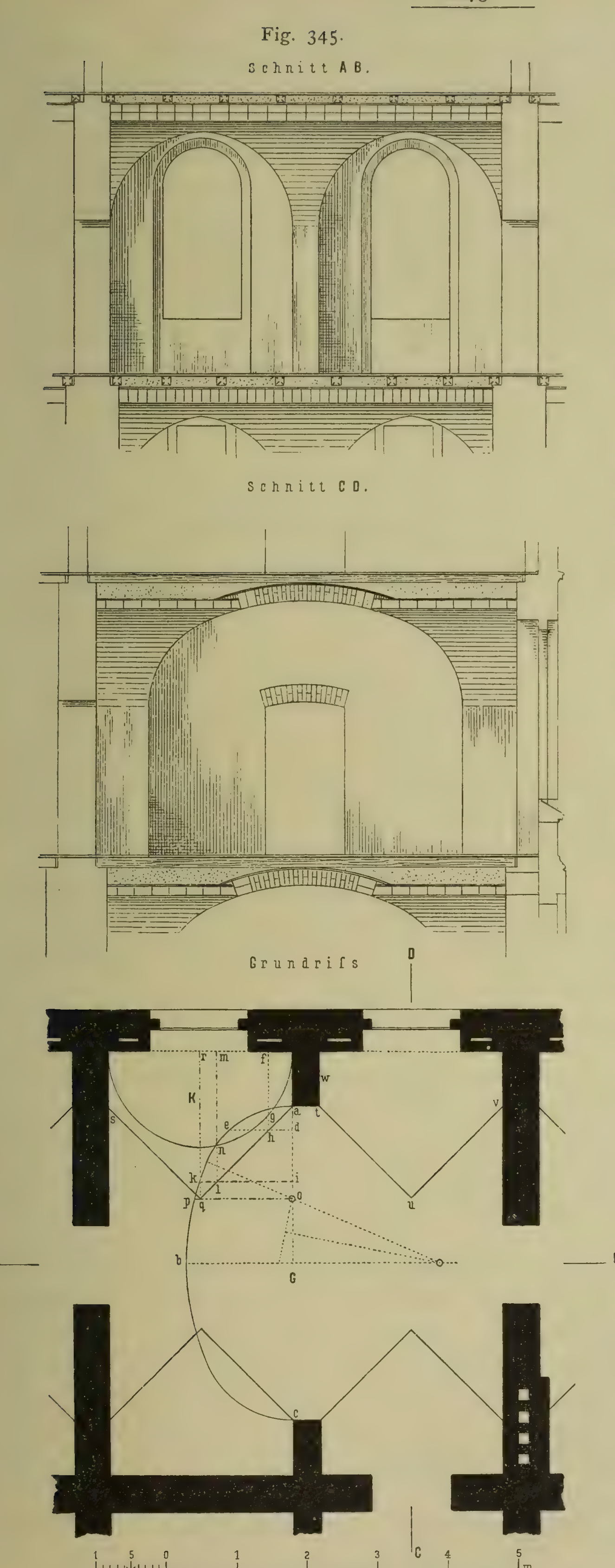
Nach diefen Angaben laffen fich die mit *ABCD* im Grundrifs bezeichneten Begrenzungslinien des Kranzes ermitteln. Die Punkte $s_{,}$ und $r_{,}$ im Grundrifs ergeben fich mit Hilfe der im Schnitt *MM* auf den um m_3 mit $m_3 p_3$, bezw. $m_3 q_3$ befchriebenen Kreisbogen liegenden Punkten s_3 und r_3.

Für die auf den Kranzlinien *A* und *B* im Grundrifs liegenden, am weiteften in das Hauptgewölbe tretenden Punkte $a_{,}$ und $b_{,}$ ift der im Aufrifs angegebene, durch die Axe des Hauptgewölbes und die wagrechte Kugelaxe geführte Schnitt $O m_{,,}$ benutzt, welcher in $a_{,,}$ und $b_{,,}$ die lothrechte Projection diefer betrachteten Punkte ergiebt. Da diefelben zunächft auf Kugelkreifen, welche entftehen, wenn durch $a_{,,}$ bezw. $b_{,,}$ lothrechte Ebenen parallel zur Stirnmauer geführt werden, fodann aber auf wagrechten Erzeugenden der Wölblinie, bezw. der Rückenlinie des Hauptgewölbes liegen, fo hat man nur nöthig, mit den Halbmeffern $m_{,,} a_{,,}$, bezw. $m_{,,} b_{,,}$ die Kreisbogen $m_{,,} c_{,,}$, bezw. $m_{,,} d_{,,}$ zu fchlagen, die Punkte $c_{,}$ bezw. $d_{,}$ auf den Kugelkreifen $K_{,}$, bezw. $K_{,,}$ im Grundrifs zu beftimmen, durch $c_{,}$, bezw. $d_{,}$ parallele Linien zu *VV* zu führen, um auf diefen die wagrechten Projectionen $a_{,}$, bezw. $b_{,}$ der am weiteften von *VV* entfernten Punkte der bezeichneten beiden Kranzlinien zu erhalten. Für die Kranzlinien *D* und *C* bildet die parallel zu *VV* durch δ_1 im Grundrifs gezogene Gerade eine gemeinfchaftliche Tangente. Die Berührungspunkte liegen auf den Erzeugenden des Hauptgewölbes, welche durch $a_{,,}$ und $b_{,,}$ geführt werden können, und auf Kugelkreifen, deren Projectionen im Aufrifs fich mit $b_{,,} d_{,,}$, bezw. $a_{,,} c_{,,}$ decken würden. Erweitert man die Lothe in $a_{,}$, bezw. $b_{,}$ im Grundrifs, fo ergeben fich in den dadurch auf der Geraden δ_1 entftehenden Schnittpunkten die wagrechten Projectionen der Berührungspunkte.

Die Ausführung des Kranzes erfolgt unter Verwendung von gutem, fchnell bindendem Mörtel mit Lagerfugenflächen, die, wie im Grundrifs angedeutet, fämmtlich Meridianfchnitten der Kugel-Stichkappe angehören. Die Stichkappe felbft wird nach der bei Kugelgewölben üblichen Einwölbungsart, wovon erft fpäter die Rede fein kann, aus freier Hand eingewölbt, nachdem das Hauptgewölbe bereits ausgerüftet ift. Da eine Ausfchalung der Kugelfläche der Stichkappe mit unnöthigen Schwierigkeiten verknüpft ift, fo benutzt man bei der Einwölbung als Lehre eine dünne Stange von der Länge des Halbmeffers $m_{,,} o_{,,}$ der inneren Kugelfläche, welche am unteren Ende mit einem Haken in eine in $m_{,,}$ befeftigte Oefe greift, alfo um $m_{,,}$ drehbar ift und nun den Ringfchichten der Kugel-Stichkappe entfprechend als fog. Leier umhergeführt werden kann, fo dafs mit Leichtigkeit durch das obere Ende der Leier die richtige Stellung und Anordnung der Lager- und Stofsfugen für die Wölbfteine der Stichkappe zu treffen ift.

Soll die Kugel-Stichkappe gleichzeitig mit dem Hauptgewölbe ausgeführt werden,

Fig. 345.



fo gebraucht man als Lehre für die Stichkappe einen aus lehmigem Sand entfprechend geformten, auf der Schalung des Hauptgewölbes ruhenden Kern, auf welchem die Wölbfteine der Stichkappe in concentrifch lagernden Ringfchichten mit radialen Lager- und Stofsfugen vermauert werden.

168. Auflöfung der Widerlager in Pfeiler und Blenden.

Die Anordnung von Stichkappen bei Tonnengewölben bietet im Hochbauwefen, abgefehen von der dadurch bewirkten fachgemäfsen Anlage von Licht- und Thüröffnungen, mannigfache Vortheile. So ift durch diefelben eine Auflöfung der Widerlager in einzelne kräftigere Pfeiler mit dazwifchen liegenden Nifchen oder Blenden und hiermit eine bedeutende Verminderung der fonft für ein gröfseres Tonnengewölbe erforderlichen, oft fehr ftarken Widerlagsmaffen möglich. Eine folche Auflöfung der Widerlager in Pfeiler und Blenden zeigt Fig. 345 für ein Tonnengewölbe, deffen Wölblinie ein aus drei Mittelpunkten befchriebener Korbbogen *abc* ift.

Das eigentliche Widerlager diefes Gewölbes find die bei *a* und *c* verhältnifsmäfsig fchmal, aber entfprechend ftark angelegten Pfeiler. Zwifchen diefen und den Querfcheidemauern, welche übrigens auch als eben folche Pfeiler angelegt werden können, befinden fich die Blenden. Diefe find mit geraden Stichkappen überwölbt, welche fich unmittelbar in das Hauptgewölbe einfügen.

In der Zeichnung find die unteren Durchdringungslinien in ihrer

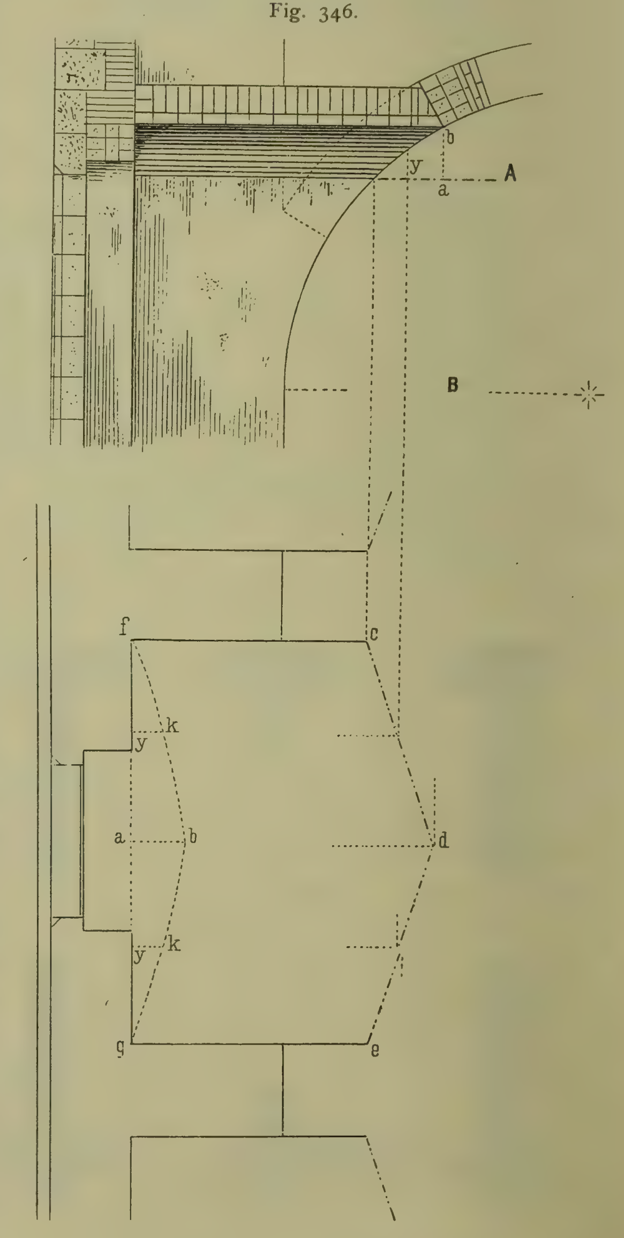
wagrechten Projection von vornherein als gerade Linien feft gelegt, welche im Punkte q auf der Axe der Stichkappen unter einem rechten Winkel zufammentreten und an den Ecken der Pfeiler, fo wie an den Scheidemauern endigen.

Durch diefe beftimmte Annahme wird die Wölblinie der Stichkappen von der Wölblinie des Tonnengewölbes abhängig gemacht, wie bereits in Art. 133 (S. 161) erwähnt wurde. Die Wölbungslinie der Stichkappe K ergiebt fich in einfacher Weife durch das Feftlegen von wagrechten Erzeugenden beider Gewölbe, welche in gleicher Höhe über der Kämpferebene in einem gemeinfchaftlichen Punkte der Durchdringungslinie über den Geraden aq, bezw. qs zufammentreten. Die Erzeugende de des Hauptgewölbes ergiebt auf aq den Punkt h; durch diefen Punkt zieht auch die zugehörige Erzeugende hf der Stichkappe K.

Nimmt man $de = fg$, fo ift aus leicht erfichtlichen Gründen der Punkt g ein Punkt der Wölblinie der Stichkappe K. In gleicher Weife ift der Punkt n, wobei $mn = ik$ wird, ermittelt.

Die fo gezeichnete Wölblinie nähert fich im vorliegenden Falle, obgleich diefelbe aus zwei Ellipfentheilen zufammengefetzt ift, fehr ftark der Halbkreisform.

Fig. 346.



Die Art der Einwölbung ift aus den Schnitten AB und CD erfichtlich. Hätten die Stichkappen nach den vorderen Begrenzungsmauern der Blenden, die nunmehr als Schildmauern für diefe Kappen auftreten und in Folge hiervon meiftens nur einer mäfsigen Stärke bedürfen, auffteigen follen, fo ändert diefe Anordnung nichts an der Lage der Punkte g, n u. f. f. Die Erzeugenden der Stichkappe find dann von diefen Punkten aus nicht mehr wagrecht, fondern unter gleichen Winkeln anfteigend, dabei aber einander parallel.

Liegt die Kämpferebene A der Stichkappe höher, als die mit B bezeichnete des Hauptgewölbes (Fig. 346), und follen dennoch die Durchdringungslinien der Laibungsflächen der beiden zufammentretenden Gewölbe in ihrer wagrechten Projection zwei gerade Linien fein, fo werden der Winkel cde, unter welchem diefelben zufammenftoffen, und die Lage ihrer Ausgangspunkte c und e von der gewählten Pfeilhöhe ab der Stichkappe und der inneren Wölblinie des Hauptgewölbes abhängig. Das Feftlegen der Leitlinie der Stichkappe mit den beiden Zweigen fb und gb ift z. B. für irgend einen Punkt k mittels der Ordinate y aus der Zeichnung ohne Weiteres zu erfehen.

169.
Tonnengewölbe aus Bruchfteinen.

Wird zur Ausführung der Tonnengewölbe ausfchliefslich Bruchfteinmaterial benutzt, fo ift vor allen Dingen auf ein möglichft feftes, lagerhaftes, alfo plattenartiges Material zu fehen. Damit daffelbe den für ein Gewölbe vorgefchriebenen conftructionellen Anforderungen entfpricht, ift für die einzelnen Steine ein mechanifches Zurichten geboten, das fich darauf erftreckt, dafs die einer und derfelben Wölbfchar zuzuweifenden Steine thunlichft gleiche Dicke und gleiche keilförmige Form durch die Bearbeitung bekommen, da nur hierdurch die Lagerfugenkanten nach dem Vermauern der Steine eine parallele Richtung mit der Gewölbaxe und die Mörtelbänder der Lagerfugen eine möglichft gleiche Stärke erhalten.

Ebenfalls find Steine von einer Längen- und Breitenabmeffung unter 20 cm, wenn nicht eine befondere, dem Gufsmauerwerk ähnliche Ausführung ftattfinden foll, von der Verwendung zur Gewölbemauerung auszufchliefsen. Die Art der Einwölbung mit Bruchfteinen hat fich hinfichtlich der Verbandanordnung der einzelnen Steine und der Wölbfchichten möglichft den für Backfteingewölbe niedergelegten Regeln anzupaffen. Die einzelnen Wölbfteine follen thunlichft durch die ganze Gewölbftärke reichen, die Steine felbft normal zur Laibungsfläche des Gewölbes ftehen und die Stofsfugen rechtwinkelig zu den Lagerfugen gerichtet fein. Für die Verbindung der Steine ift ein guter verlängerter Cementmörtel, bezw. reiner Cementmörtel zu nehmen. Zeigen fich auf dem Rücken des Gewölbes einzelne Lücken in den Steinen oder gar ftärkere Fugen, fo find diefelben forgfam zu verzwicken; überhaupt ift dahin zu fehen, dafs ein Bruchfteingewölbe in feinem Körper ein gut gefchloffenes Mauerwerk zeigt, welches in feinem Gefüge fich den Backfteingewölben fo weit als irgend möglich nähert.

Bruchfteingewölbe werden zweckmäfsig nicht unter 30 cm Stärke ausgeführt. Bei gröfseren Gewölben mufs natürlich die Stärke durch ftatifche Unterfuchung ermittelt werden. Hierbei kommt nun aber wefentlich die Feftigkeit des zu Gebote ftehenden Materials in Betracht.

Weniger fefte Bruchfteine liefern ein Gewölbe, welches diefelbe Stärke, wie ein gleich geformtes und belaftetes Backfteingewölbe, unter Umftänden eine noch gröfsere Stärke erfordert, während feftere Bruchfteine eine Stärke erhalten können, welche der Stärke von guten Quadergewölben fich nähert. Bruchfteine, die geringere Feftigkeit als gut gebrannte Backfteine befitzen, follen zu Gewölben nicht verbraucht werden. Unter Berückfichtigung diefer Verhältniffe kann die Stärke der Bruchfteingewölbe nach den auf S. 185 u. 186 mitgetheilten Gleichungen 142 u. 145 ermittelt werden, indem man die dadurch erhaltenen Abmeffungen gleichfam als untere und obere Grenzwerthe betrachtet, wobei jedoch von Fall zu Fall in Rückficht auf die Befchaffenheit des Wölbmaterials eine Erhöhung, bezw. eine etwaige Herabminderung folcher Stärke forgfältig erwogen werden mufs.

In Frankreich und hin und wieder auch in Deutfchland find Tonnengewölbe nur aus kleineren unbearbeiteten Steinen hergerichtet, welche an den Stirnen der Gewölbe von einem aus guten Bruchfteinen oder Quadern angefertigten, kurzen Gewölbeftück begrenzt find. Die Gewölbe beftehen alsdann aus über einander gelagerten Schalen. Die erfte Steinfchicht wird unter Benutzung von Cementmörtel auf der Schalung des Gewölbes fo gebildet, dafs die möglichft ebenen Flächen der Wölbfteine auf der letzteren gut lagern. Auf diefe erfte noch nicht vollftändig erhärtete Schale kommt die zweite u. f. f., bis das Gewölbe die erforderliche Stärke erhalten hat. Das Ganze wird dann mit einem flüffigen Cementmörtel übergoffen.

Ein ſolches Gewölbe kann auch ſeiner Länge nach ſtreckenweiſe in Zonen von der unteren bis zur oberen Schale ausgeführt werden.

Nach dem Erhärten dieſes Baukörpers, welcher einem ſog. Gufsgewölbe ähnlich iſt, entſpricht derſelbe einem vollwandigen Bogen mehr, als einem eigentlichen Gewölbe.

170. Tonnengewölbe aus Quadern.

Das edle, vornehme und dauerhafte Quadermaterial iſt zur Ausführung von Tonnengewölben ſelbſtredend ſehr geeignet. Seiner oft grofsen Koſten halber findet daſſelbe im Hochbauweſen jedoch eine nur gering zu nennende Verwendung, da weſentlich nur bei Prachtbauten auf Quadergewölbe Rückſicht genommen werden dürfte.

Bei der Ausführung von Gewölben aus Quadern, auch Hauſteine, Schnittſteine, Werkſtücke genannt, iſt im Allgemeinen für die Verbandanordnung der Lager- und Stoſsfugenkanten das bei Backſteingewölben Geſagte maſsgebend. Die einzelnen Quader der Wölbſcharen greifen durch die ganze Gewölbſtärke. Nichts ſteht einer reicheren Ausſchmückung der in der Laibung des Gewölbes auftretenden unteren Flächen der Wölbquader durch Ornamente, Caſſettirung u. ſ. w. entgegen, und bei ſorgſamer, einem gut und regelrecht gewählten Fugenſchnitte entſprechender Bearbeitung der einzelnen Steine erſcheint ein Quadergewölbe als eine beachtenswerthe Conſtruction.

Beim Verſetzen der Quader auf der Schalung des Gewölbes bedient man ſich derſelben Werkzeuge und Hilfsmittel, welche beim Quadermauerwerk überhaupt Verwendung finden. Eine Eintheilung der Schichten und ein Vorzeichnen der Lager- und Stoſsfugenkanten auf der Schalung der Lehrbogen bietet für das richtige Verſetzen der Quader den nöthigen Anhalt. Für die Mörtelgabe bei Quadergewölben iſt bereits in Art. 150 (S. 218) das Nähere angegeben.

171. Schneckengewölbe.

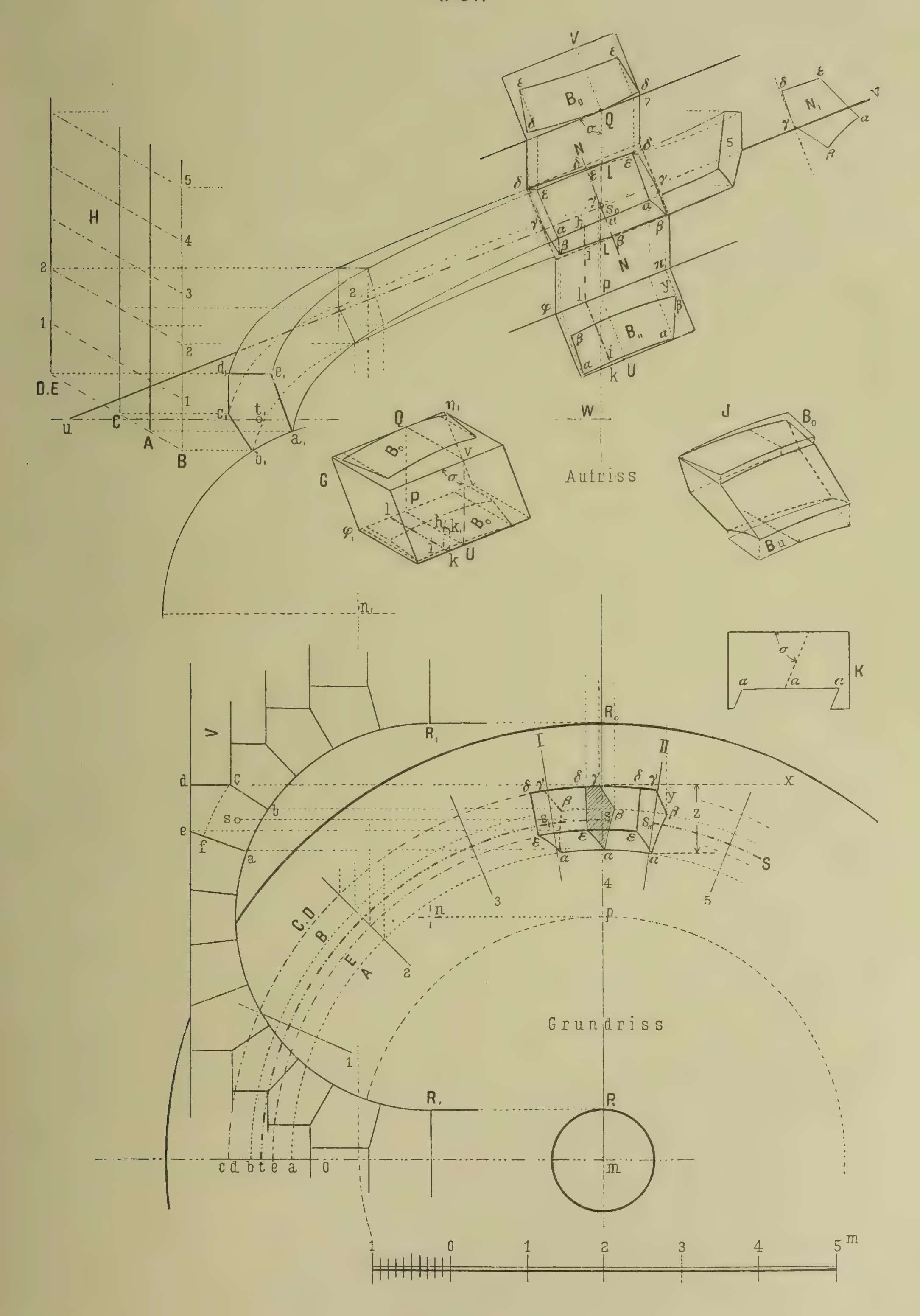
Geſtaltet ſich der Fugenſchnitt bei einem geraden Quader-Tonnengewölbe im Allgemeinen in einfacher Weiſe, ſo ſind doch für die in Art. 131 (S. 160) bereits erwähnten, ſchraubenförmig ſteigenden Tonnengewölbe oder Schneckengewölbe und für die in Art. 134 (S. 164) angeführten ſchiefen Gewölbe hinſichtlich des Steinfugenſchnittes und der Formen der als Wölbſteine zu bearbeitenden Werkſtücke beſondere Ausmittelungen erforderlich, welche zur Beſtimmung der Brettungen oder Schablonen dienen, wonach die Zurichtung der Steine vorgenommen werden muſs.

Unter Bezugnahme auf Fig. 274 (S. 161), in welcher die Anordnung der Lager- und Stoſsfugenkanten der Wölbſteine für ein Schneckengewölbe nur angedeutet wurde, iſt in Fig. 347 die Ausmittelung eines Werkſtückes für ein derartig ſchraubenförmig anſteigendes Gewölbe vorgenommen.

Die Erzeugende des Schneckengewölbes ſei der in der lothrechten, durch den Mittelpunkt m der vollen Spindel (Mönch, Mäkler) geführten Ebene $R R_0$ gelegene, hier im Grundriſs niedergeklappte Halbkreis $R_, R_,$ mit dem Mittelpunkte n. Die wagrechte Projection der als Schraubenlinie auftretenden Gewölbeaxe iſt der um m mit dem Halbmeſſer mp beſchriebene Kreis, während die wagrechten Projectionen der ſchraubenförmigen Kämpferlinien die mit den Halbmeſſern $m R_0$, bezw. $m R$ beſchriebenen Kreiſe ſind. Unter Berückſichtigung der Steigung, welche der Schraubenlinie der Gewölbaxe gegeben werden ſoll, liegen für jede durch m tretende lothrechte Ebene die Punkte $R_,$, n, $R_,$ in einer wagrechten Linie.

Beſtimmt man im lothrechten Mittelpunktsſchnitte V die Gewölbetheilung, ſo möge $abcde$ die lothrechte Stirnfläche irgend eines Wölbſteines ſein. Betrachtet man den Punkt s_0, welcher hier der Schwerpunkt des Flächenſtückes $abcf$ iſt, als einen Punkt der ſchraubenförmigen Axe desjenigen Wölbkörpers, dem die ſämmtlichen Steine mit gleichen lothrechten Stirnſchnitten angehören, ſo iſt die wagrechte Projection der Axe dieſer Wölbſchar der um m beſchriebene Kreis Sst. Mit Hilfe der Projection der

Fig. 347.



Fläche *abcde*, bezogen auf die Ebene RR_0, kann die gefammte wagrechte Projection der bezeichneten Wölbfchar vervollftändigt werden, wie folches durch die um *m* befchriebenen Kreife *A*, *B*, *C*, *D*, *E* gefchehen ift.

Theilt man die Axe *tS* der Wölbfchar in eine beliebige Anzahl gleich grofser Theile ein und führt man durch die entfprechenden Theilpunkte lothrechte Mittelpunktsfchnitte *o*, *1*, *2* u. f. f., beftimmt man der Steigung der Schraubenlinie der Gewölbaxe *p* gemäfs in der lothrechten Projection die Lage $a, b, c, d, e, f,$ des in der Ebene *O* befindlichen Stirnfchnittes der in Frage kommenden Wölbfchar, fo läfft fich mit Verwendung des im Plane *K* für die einzelnen Schraubenlinien $a_{,}$, *b*, bis *e*, angegebenen Steigungsmafses, wobei z. B. $B1 = 12 = 23$ u. f. f. für die Schraubenlinie $b_{,}$, eben fo für die Schraubenlinien $d_{,}$ und $e_{,}$ die Strecke $D1 = B1$, $12 = 12$ u. f. f. ift, die lothrechte Projection des fchraubenförmigen Körpers der Gewölbfchar feft legen. Die Lagerfugenflächen derfelben werden von den Schraubenlinien $a, e_{,}$, bezw. $b, c_{,}$, bezw. $c, d,$ begrenzt.

Die Stofsfugenflächen find in folgender Weife zu ermitteln. Für die vortheilhafte Bearbeitung ift die Theilung jeder Wölbfchar für fich in Wölbfteine von gleicher Länge rathfam. Neben einander liegende Wölbfcharen müffen natürlich auf Verband mit Mitte Stofsfugenfläche auf Mitte Lagerfugenfläche geordnet werden, fo dafs, diefem Verbande entfprechend, am Anfange und am Ende jeder zweiten Wechfelfchar ein Stein von der halben Länge der übrigen Scharfteine entfteht. Ift nun für die hier genommene Wölbfchar *S* die durch $s_{,}$ und $s_{,,}$ gegebene Bogenftrecke, wobei $ss_{,} = ss_{,,}$ ift, die Länge der Axe eines Wölbfteines, fo gehen durch die Punkte $s_{,}$ und $s_{,,}$ die lothrechten Mittelpunktsfchnitte *I* und *II*, welche, nach rechts und links unter Beibehaltung ihres Abftandes $s_{,}s_{,,}$ auf dem Kreife *S* übertragen, die allgemeine Lage der Stofsfugenflächen der Wölbfchar geben. Die befondere Lage und Begrenzung der Stofsfugenflächen richtet fich nach der Vorfchrift, dafs diefelben in Ebenen liegen follen, welche normal zur Schraubenlinie der Axe der zugehörigen Wölbfchar geführt werden. In der wagrechten Projection ift *s* der mittlere Axenpunkt des Wölbfteines; demfelben gehört die lothrechte Projection s_0 auf dem Lothe *LL* an. Um die durch s_0 gehende Spur *NN* der gefuchten Normalebene einer Stofsfugenfläche zu finden, möge durch $t_{,}$ eine wagrechte Ebene *W* gelegt und an die Schraubenlinie in dem Elemente, welches durch *s* und s_0 projicirt ift, eine Tangente geführt fein. Letztere erhält man in der lothrechten Projection, wenn die erftreckte Bogenlänge *st* des Kreisbogens *S* des Grundriffes von *W* nach *u* im Aufrifs abgetragen und nun die Gerade $u s_0 v$ gezogen wird. Zieht man *NN* durch s_0 rechtwinkelig zu *uv*, fo erhält man die lothrechte Spur der gefuchten Normalebene. Diefelbe fchneidet die Schraubenlinien $a_{,}$ in α, $b_{,}$ in $\beta_{,,}$ $c_{,}$ in γ, $d_{,}$ in δ und $e_{,}$ in ε. Die wagrechten Projectionen diefer Schnittpunkte find im Grundrifs gleichfalls mit α, β ... ε bezeichnet. Durch diefe Punkte find die Grenzpunkte für die Stofsfugenflächen auf den einzelnen zugehörigen Schraubenlinien beftimmt. Weitere Punkte, welche der Normalebene und den einzelnen Schraubenflächen zukommen, laffen fich mit einigen auf den einzelnen Schraubenflächen eingezeichneten Hilfs-Schraubenlinien ermitteln, da die Durchftofspunkte derfelben mit *NN* fich dann eben fo, wie jene Grenzpunkte ergeben.

Ift hiernach im Grundrifs die wagrechte Projection $\alpha\beta\gamma\delta\varepsilon$ einer Stofsfugenfläche beftimmt, fo ift diefelbe für die Mittelpunktsfchnitte *I* und *II* nur zu übertragen, weil die wagrechten Projectionen aller normal zu der Schraubenlinie der Axe einer Wölbfchar gerichteten Schnitte genau diefelben bleiben. Denkt man fich RR_0 auf *I*, bezw. *II* fo gelegt, dafs diefelben, fich deckend, *s* mit s_1, bezw. *s* mit $s_{,,}$ zufammenfallen laffen, fo decken fich auch α mit α, β mit β u. f. f., und man erhält danach die vollftändige wagrechte Projection eines Wölbfteines, deffen Projection im Aufrifs nunmehr leicht gezeichnet werden kann. Eben fo bietet die Ermittelung der Fläche N_1 des Normalfchnittes *NN* keine Schwierigkeit.

Für die Bearbeitung des in den Projectionen dargeftellten Wölbfteines find aufser der Brettung N_1 noch Brettungen oder Schablonen B_o und B_u erforderlich, denen zur leichten Uebertragung der Schraubenlinien $\alpha\alpha$, $\beta\beta$ u. f. f. aus der lothrechten Projection des Wölbfteines Brettungen, wie z. B. *K* für $\alpha\alpha$, noch hinzugefügt werden können.

Umfchliefst man die lothrechte Projection des Wölbfteines durch ein Rechteck, welches in jeder Seite durch die äufserft gelegenen Punkte der Projection geht, fo erhält man ohne Berückfichtigung eines Uebermafses, des fog. Arbeitszolles, die wirkliche Länge und Höhe des Steines, woraus der Wölbftein herzuftellen ift. Begrenzt man ferner die wagrechte Projection diefes Wölbfteines durch zwei parallele Linien, welche, rechtwinkelig zu $R_o R$ geführt, durch die äufserften Punkte diefer

Projection ziehen, fo erhält man im Abftande Z derfelben die wirkliche Breite des Werkftückes.

Hätte man die Abmeffungen unter Beifügung eines Arbeitszolles entfprechend vergröfsert, fo würde im Grundgedanken an der Ausmittelung der Schablonen nichts geändert werden. Denkt man fich die für die Brettung B_u mafsgebende Seitenfläche U niedergeklappt, fo beftimmt fich der Punkt β derfelben in folgender Weife. Man ziehe die Lothrechte $\beta\pi$, errichte in π zur Linie P die Senkrechte $\pi\beta$, entnehme aus dem Grundrifs die Ordinate y der wagrechten Projection β und trage $\pi\beta = y$ ab; alsdann ift β auf der Ebene U ein Punkt der Brettung B_u. In derfelben Weife wird nicht allein für B_u, fondern auch für B_0, wie aus der Zeichnung erfichtlich ift, die erforderliche Zahl von Punkten für die Brettungen aus den bekannten Projectionen der oberen und unteren Flächen des Wölbfteines ermittelt. Die Brettungen find alfo Projectionen auf die ebenen Seitenflächen des Werkftückes.

Für das Anlegen diefer Brettungen an die obere, bezw. untere Ebene des Werkftückes find die Geraden QV, bezw. PU mafsgebend, welche rechtwinkelig zur Linie Q, bezw. zur Linie P ftehen und deren Fufspunkte Q und P auf der lothrechten Linie LL liegen. In der Darftellung G ift das Anlegen der Brettungen B_0 und B_u beim Werkftücke angegeben. Hierbei ift $Q\eta_1 = Q\eta$ der Schablonenfläche V und $P\varphi_1 = P\varphi$ der Schablonenfläche U. Reifst man die Geraden VU, bezw. QP am Steine vor, fo entfprechen diefelben der Lothrechten LL, welche um einen Winkel σ von den Begrenzungslinien Q, bezw. P abweicht. Diefer Winkel σ ift der fog. Schmiegewinkel.

Mit Hilfe deffelben können für die Bearbeitung des Wölbfteines die nöthigen Punkte der am Steine auftretenden Schraubenlinien leicht feft gelegt werden. So ift für den Punkt h_1 am Steine G zunächft Pl aus der Fläche $U = Pl$ am Steine zu nehmen und lk winkelrecht zur P-Linie vorzureifsen, alsdann durch k, dem Schmiegewinkel σ entfprechend, die Linie kk_1 parallel UV zu ziehen und endlich kk_1 gleich der Länge ih in der lothrechten Projection des Wölbfteines zu nehmen. Würde nun ih_1 gleich und parallel kk_1 gearbeitet, fo ift h_1 ein Punkt der Schraubenlinie α an Wölbfteine. Diefes Uebertragen der Punkte der Schraubenlinie wird durch die vorhin fchon erwähnten Brettungen K erleichtert, welche an die betreffenden ebenen Seitenflächen des Werkftückes gelegt werden können und hier das Vorreifsen der Projectionen der Schraubenlinien geftatten.

Sind die einzelnen Stücke des Wölbfteines bis zu den betreffenden Schraubenlinien abgearbeitet und die Flächen für die ebenen Stofsfugenflächen vermöge der zugehörigen Begrenzungslinien $\alpha\beta$, bezw. $\delta\varepsilon$ hergerichtet, fo find die Schablonen N_1 der Stofsfugenflächen anzulegen, wonach alsdann die Steinftücke oder Boffen an den Laibungs- und Rückenflächen zwifchen den bereits erhaltenen Schraubenlinien forgfältig fortgenommen werden können. Bei der Darftellung J find diefe Stücke befeitigt, während oben und unten die den Brettungen B_o und B_u entfprechenden Boffen bis zu den ihnen zukommenden Schraubenlinien noch belaffen find.

Wie fpäter bei der Ausführung der fchiefen Tonnengewölbe erörtert wird, kann entfprechend der fchon aufgeftellten Gleichung 128 (S. 174) für das Feftlegen der Curven $\alpha\alpha$ und $\beta\beta$ der Brettung B_u und eben fo für die Curven $\delta\delta$ und $\varepsilon\varepsilon$ der Brettung B_o je ein Kreisbogenftück mit einem beftimmten Krümmungshalbmeffer genommen werden. Ift z. B. ρ_a der gefuchte Halbmeffer für die Curve $\alpha\alpha$ der Brettung B_u, fo wird

$$\rho_a = \frac{r_a}{\sin \sigma^2}.$$

Eben fo wird, wenn ρ_δ der gefuchte Halbmeffer für die Curve $\delta\delta$ der Brettung ift,

$$\rho_\delta = \frac{r_\delta}{\sin \sigma^2} \text{ u. f. f.}$$

In diefen Ausdrücken ift r_a gleich dem Halbmeffer $m\alpha$, r_δ gleich dem Halbmeffer $m\delta$ der im Grundrifs feft gelegten Kreisbogen A, bezw. D, während σ den Winkel bezeichnet, welchen die untere, bezw. obere Rechteckfeite des die lothreche Projection des Wölbfteines umfchliefsenden Rechteckes mit dem Lothe LL bildet. Diefe Rechteckfeiten find in der Zeichnung parallel mit uv gelegt.

Nach den Abmeffungen in der Zeichnung ift $\sin \sigma = \frac{Wu}{us_0} = \frac{6{,}9}{7{,}4}$; ferner ift

$$r_a = m\alpha = 4^{\,m} \quad \text{und} \quad r_\delta = m\delta = 4{,}85^{\,m}.$$

Hiernach ift

$$\rho_a = \frac{4}{\left(\frac{6{,}9}{7{,}4}\right)^2} = 4{,}60^{\,m} \quad \text{und} \quad \rho_\delta = \frac{4{,}85}{\left(\frac{6{,}9}{7{,}4}\right)^2} = 5{,}58^{\,m}.$$

Auf gleichem Wege laffen fich die Krümmungshalbmeffer für ββ an B_u, bezw. für εε an B_o berechnen und fomit unter Benutzung der betreffenden Krümmungshalbmeffer die Schablonen B_u und B_o in erleichterter Weife in natürlicher Gröfse aufzeichnen.

Für die Ausführung der Schneckengewölbe in Backftein- oder Bruchfteinmaterial ift hinfichtlich der Stellung und des Verbandes der Wölbfcharen mit Sorgfalt zu verfahren.

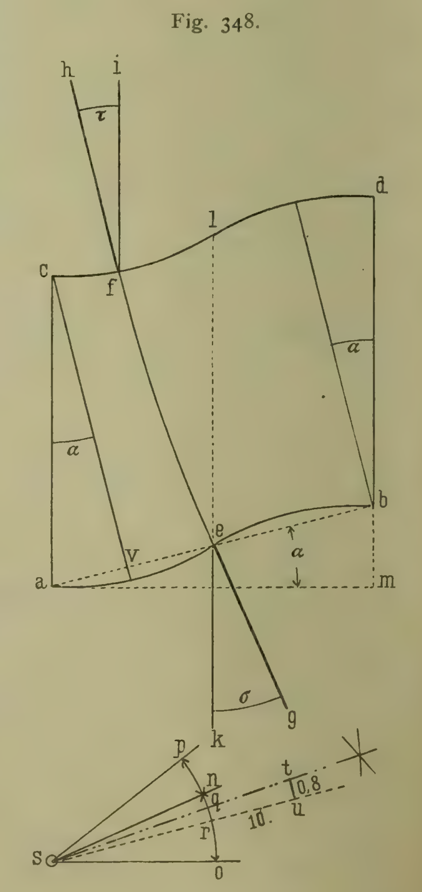
Das Aufftellen der Lehrbogen hat, der fchraubenförmig auffteigenden Gewölbaxe entfprechend, in gleichen wagrechten, nicht zu grofs zu nehmenden Entfernungen der mittleren Lothlinien der Bogen fo zu gefchehen, dafs jeder lothrecht geftellte Lehrbogen gleichfam in einem Mittelpunktsfchnitte fteht und jeder folgende Lehrbogen um die Steighöhe, welche den wagrechten Entfernungen ihrer mittleren Lothlinien zukommt, höher geftellt wird, als der unmittelbar vorher befindliche Lehrbogen. Die Schalung der Lehrbogen wird aus thunlichft fchmalen, nicht zu langen Leiften, welche nach vorherigem Erweichen in Waffer etwas biegfam find, hergeftellt. Bei fchweren Gewölben werden unter Umftänden mehrere über einander befindliche Lagen folcher Leiften erforderlich. Bei der Verfchalung ift man bemüht, die Oberfläche derfelben möglichft genau der Laibungsfläche des fchraubenförmigen Gewölbes anzupaffen, und man hat dem gemäfs die einzelnen Leiften in ihren Kanten etwas nachzuarbeiten.

172. Schiefe Tonnengewölbe.

Ueber die allgemeine Geftaltung der fchiefen Tonnengewölbe ift bereits in Art. 134 (S. 164) das Nöthigfte gefagt.

Für die befondere Ausführung derfelben kommen noch einige Punkte in Betracht, welche hier näher berührt werden follen. In den meiften Fällen wird für die Ausführung der fchiefen Gewölbe aus Werkftücken der früher gekennzeichnete fog. englifche Fugenfchnitt in den Vordergrund treten, wobei der conftante Fugenwinkel für die Richtung der Lagerkanten auf der abgewickelten Laibungsfläche des Gewölbes mafsgebend wird. Die Gröfse diefes Winkels bedingt die Steigung der Schraubenlinien der Lagerkanten und damit die mehr oder weniger ftark von Stirn zu Stirn, bezw. vom Kämpfer zur Stirn anfteigenden Schraubenflächen der Lager- und weiter der Stofsflächen der Wölbfteine. Ift jener Winkel zu grofs, fo kann ein Gleiten der Steine auf den Lagerflächen und hiernach ein Ausbauchen an der Gewölbftirn eintreten. Um diefen Uebelftand zu vermeiden, läfft man für den conftanten Fugenwinkel einen Grenzwerth gelten, welcher wie folgt feft gefetzt wird.

Fig. 348.



Ift in Fig. 348 *abcd* die abgewickelte Laibungsfläche eines fchiefen Gewölbes, *aeb* die Verbindungsfehne der abgewickelten Stirnlinie, *cv* ein Loth auf der Geraden *ab*, fo giebt nach dem in Art. 134 (S. 171) Gefagten der $\sphericalangle\, acv = \sphericalangle\, bam = \sphericalangle\, \alpha$ den conftanten Fugenwinkel. Beftimmt man nach den an

der angezogenen Stelle gemachten Mittheilungen die Scheiteltrajectorie *ef*, fo weicht die im Elemente *e* diefer Curve gezogene Tangente *eg* um $\sphericalangle\, gek = \sphericalangle\, \sigma$ und die im Elemente *f* der Trajectorie geführte Tangente *fh* um $\sphericalangle\, hfi = \sphericalangle\, \tau$ von der Richtung der Scheitellinie *lek*, bezw. von der ihr parallelen Linie *if* ab. Im Allgemeinen haben die Winkel σ und τ eine vom Winkel α abweichende Gröfse. Nimmt man aus den beiden Werthen der Winkelgröfsen σ und τ den Durchfchnitt, fo foll erfahrungsmäfsig, um den vorhin erwähnten Uebelftand nicht herbeizulaffen, der Unterfchied zwifchen der Gröfse diefes Durchfchnittswinkels und dem Winkel α die Gröfse von 8 Grad nicht überfchreiten.

In der Zeichnung find die beiden Winkel $\sigma = osn$ und $\tau = nsp$ zum Winkel *osp* zufammengetragen; der Winkel *osp* ift durch den Strahl *sq* halbirt und hierdurch der Durchfchnittswerth von $\sigma + \tau$ als Winkelgröfse *qso* erhalten. Sodann ift $\sphericalangle\, \alpha = osr$ eingetragen, fo dafs jetzt im $\sphericalangle\, qsr$ der Unterfchied zwifchen *qso* und α beftimmt ift. Im rechtwinkeligen Dreiecke *sut* ift die Kathete *su* gleich 10 Einheiten eines beliebigen Mafsftabes genommen; die Beftimmung der Länge *tu* der zweiten Kathete nach demfelben Mafsftabe ergiebt die Gröfse von 0,8 Einheiten. Mithin ift $\operatorname{tg} tsu = \frac{0{,}8}{10} = 0{,}08$. Diefe Zahl entfpricht einem Winkel von $\backsim 4^0\, 34'$. Derfelbe ift alfo von dem Grenzwerthe $= 8$ Grad noch weit entfernt, und dieferhalb kann das in der Zeichnung behandelte Gewölbe unter Benutzung des conftanten Fugenwinkels zur Ausführung kommen. Würde der bezeichnete Unterfchied die Gröfse von 8 Grad übertreffen, fo wäre, wenn fonft eine Aenderung der ganzen Gewölbeanlage unftatthaft ift, der ftrenge oder fog. franzöfifche Fugenfchnitt in Anwendung zu bringen.

Für die praktifche Ausführung wird unter Anwendung des conftanten Fugenwinkels der Normalfchnitt des fchiefen Gewölbes als Kreisbogen genommen, fo dafs der Stirnbogen ein elliptifcher Bogen wird. Die Theilung für die Wölbfteine erfolgt nach den in Art. 134 (S. 173) gegebenen Erörterungen. Da hiernach alle Wölbfteine mit Ausnahme der Steine mit befonders abgeftumpften Ecken in den Bogenanfängen und an den Stirnen des Gewölbes nach den gleichen Brettungen bearbeitet werden können, fo ift hierdurch eine weit gröfsere Erleichterung für die Herftellung der Wölbfteine gefchaffen, als wenn umgekehrt der Stirnbogen des fchiefen Gewölbes ein Kreisbogen und der Normalfchnitt ein elliptifcher Bogen ift. In diefem Falle können mit geringen Ausnahmen die einzelnen Wölbfteine eben fo wenig, wie beim franzöfifchen Fugenfchnitte, nach denfelben Schablonen bearbeitet werden.

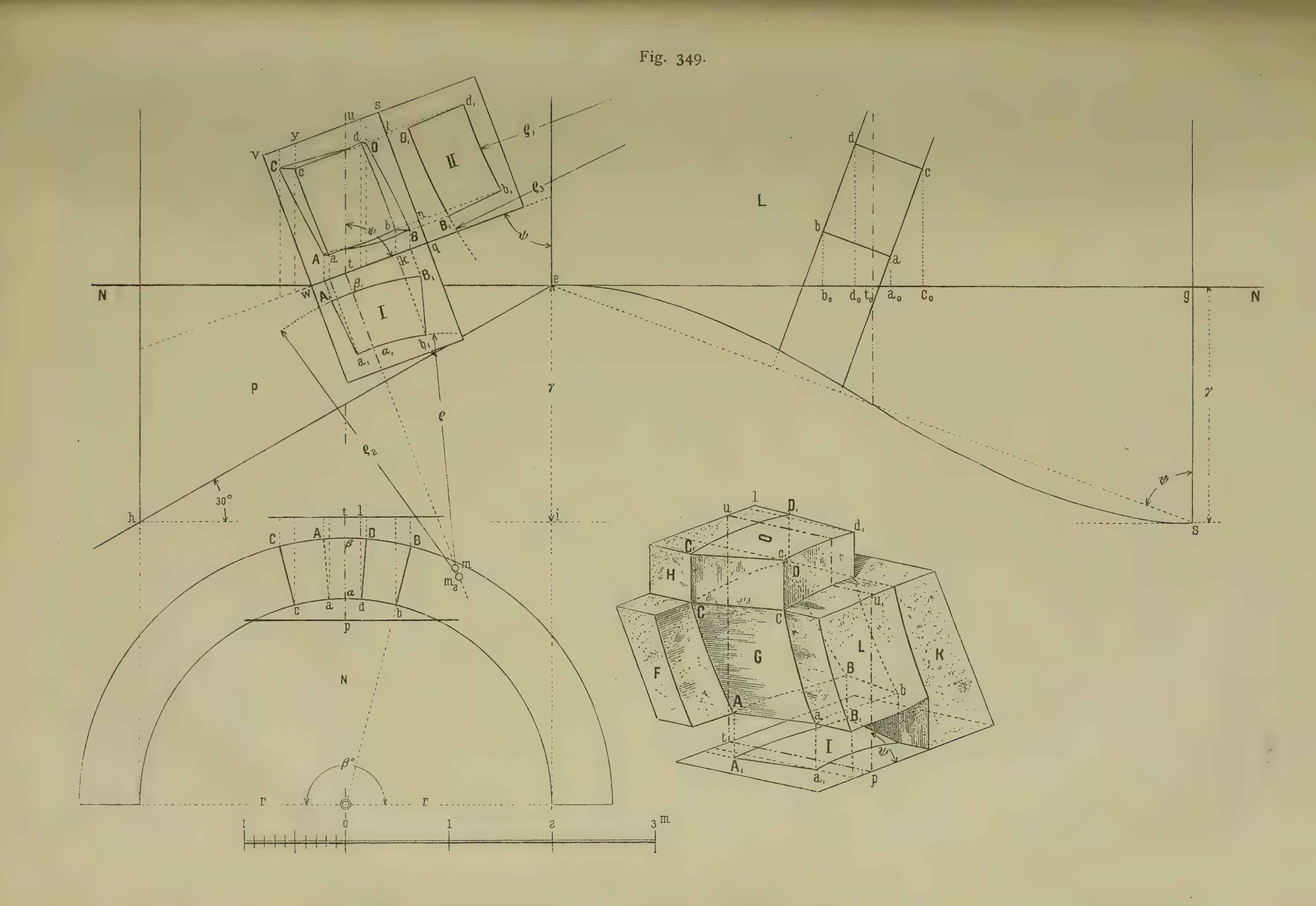
Bei der erften Anordnung find allerdings elliptifche Lehrbogen, welche parallel zur Stirn aufgeftellt werden, anzufertigen, während bei der letzten Anordnung kreisförmige Lehrbogen entftehen. Allein diefer Umftand ift für die erfte Anordnung gegenüber den fonftigen Vortheilen bei den Wölbfteinen nicht von erheblicher Bedeutung.

Beim Ausmitteln der Brettungen eines Wölbfteines des in Fig. 349 näher behandelten fchiefen Gewölbes kommen für die keilförmige Geftalt des Steines vorwiegend die Projectionen der Seitenflächen deffelben auf Ebenen in Betracht, deren Spuren in der Bildtafel *P* durch *wq* und *qs* angedeutet find. Beide Ebenen ftehen hier rechtwinkelig auf einander und gleichzeitig lothrecht zur Bildtafel, während fie mit der durch die Axe *tu* des Gewölbes geführten, ebenfalls rechtwinkelig zur Bildtafel ftehenden Ebene einen Winkel ψ, bezw. $90 - \psi$ einfchliefsen.

Ift die Laibungsfläche des Gewölbes die Fläche eines Kreiscylinders mit dem Halbmeffer *r*, deffen Leitlinie in der rechtwinkelig zur Cylinderaxe geführten Ebene *NN* liegt, fo fchneiden die durch *wq* und *qs* beftimmten Ebenen den Kreiscylindermantel nach Ellipfen, deren Axenlängen berechnet werden können, fobald *r* und Winkel ψ gegeben find.

Ift vorweg nach Fig. 350 der Winkel ψ willkürlich von einer Gröfse σ angenommen, ift übrigens aber an der Stellung der beiden fich fchneidenden Ebenen *CD* und *EF*, welche *wq* und *qs* entfprechen follen, nichts weiter geändert, als dafs fich diefelben auf der Cylinderaxe *zm* in einer rechtwinkelig zur

Fig. 349.



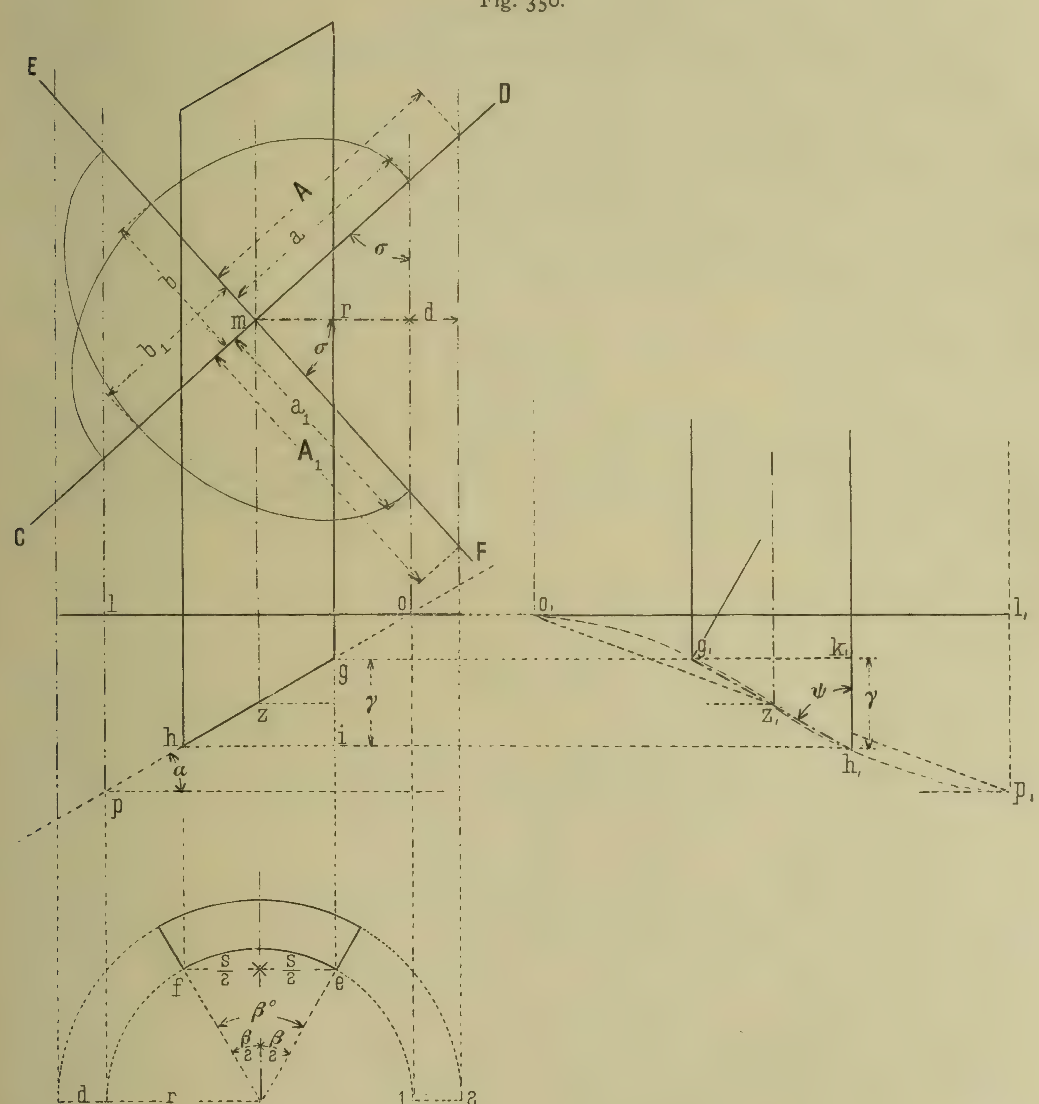
Bildtafel ftehenden geraden Linie treffen; fo wird die Länge diefer geraden Linie von der Cylinderaxe bis zum Cylindermantel gleich dem Halbmeffer r der Leitlinie des Cylinders und fofort auch gleich der Länge der Halbaxen b, bezw. b_1 der erwähnten Ellipfen.

Für die Cylinderfläche *1* mit einem Kreife vom Halbmeffer r als Leitlinie liefert die fchneidende Ebene CD eine Ellipfe mit den Halbaxen a und b.

Unter Bezugnahme auf Fig. 350 ift

$$a = \frac{r}{\sin \sigma} \quad \text{und} \quad b = r \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \qquad 165.$$

Fig. 350.



Eben fo giebt für diefelbe Cylinderfläche *1* die fchneidende Ebene EF eine Ellipfe, deren Halbaxen

$$a_1 = \frac{r}{\cos \sigma} \quad \text{und} \quad b_1 = r \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \qquad 166.$$

werden.

Für die Cylinderfläche *2*, deren normale kreisförmige Leitlinie einen Halbmeffer $r + d$ befitzt, entfpringt bei der fchneidenden Ebene CD eine Ellipfe mit den Halbaxen

$$A = \frac{r + d}{\sin \sigma} \quad \text{und} \quad B = r + d; \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \qquad 167.$$

eben ſo bei der ſchneidenden Ebene EF eine ſolche mit den Halbaxen

$$A_1 = \frac{r+d}{\cos\sigma} \quad \text{und} \quad B_1 = r + d. \quad \ldots \quad 168.$$

Bezeichnet ρ den Krümmungshalbmeſſer im Endpunkte der Halbaxe b der für CD in Frage kommenden Ellipſe der Cylinderfläche I, ſo iſt

$$\rho = \frac{a^2}{b},$$

d. h. nach Gleichung 165

$$\rho = \frac{\left(\frac{r}{\sin\sigma}\right)^2}{r} = \frac{r}{\sin\sigma^2} \quad \ldots \quad 169.$$

Iſt ferner ρ_1 der Krümmungshalbmeſſer im Endpunkte der Halbaxe b_1 der für EF geltenden Ellipſe der Cylinderfläche I, ſo wird

$$\rho_1 = \frac{{a_1}^2}{b_1}$$

oder nach Gleichung 166

$$\rho_1 = \frac{\left(\frac{r}{\cos\sigma}\right)^2}{r} = \frac{r}{\cos\sigma^2} \quad \ldots \quad 170.$$

In gleicher Weiſe erhält man für die Ellipſen der Cylinderfläche 2 bei der Ebene CD

$$\rho_2 = \frac{r+d}{\sin\sigma^2} \quad \ldots \quad 171.$$

und bei der Ebene EF

$$\rho_3 = \frac{r+d}{\cos\sigma^2} \quad \ldots \quad 172.$$

Iſt α der Winkel der Schiefe und β der Centriwinkel eines Kreisbogens ef mit dem Halbmeſſer r, welcher als Normalſchnitt eines ſchiefen Gewölbes feſt geſetzt iſt, ſo iſt $gi = k_, h_, = \gamma$, gleich dem in der Richtung der Gewölbaxe gemeſſenen Abſtande des einen Endes des ſchrägen Hauptes von dem anderen, und man erhält, da $hi = fe = s$ iſt,

$$\gamma = s \,.\, \operatorname{tg}\alpha,$$

oder, da $\frac{\frac{s}{2}}{r} = \sin\frac{\beta}{2}$, alſo $s = 2r \,.\, \sin\frac{\beta}{2}$ iſt, auch

$$\gamma = 2r \,.\, \sin\frac{\beta}{2}\operatorname{tg}\alpha. \quad \ldots \quad 173.$$

Die abgewickelte Bogenlänge von $ef = g_, k_,$ iſt $= \frac{\pi r}{180^0}\beta^0$. Betrachtet man das in der Abwickelung der Laibungsfläche des ſchiefen Gewölbes aus $g_, k_,$, der Länge γ und der Sehne $g_, h_,$ der abgewickelten Stirnlinie gebildete recktwinkelige Dreieck $g_, k_, h_,$, ſo iſt in demſelben

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{g_1 k_1}{\gamma} = \frac{\pi r \beta^0}{180^0 \gamma}, \quad \ldots \quad 174.$$

worin γ nicht weiter durch den Werth aus Gleichung 173 erſetzt werden ſoll.

Nimmt man nunmehr den früher beliebig angenommenen Winkel σ ſo an, daſs derſelbe gleich Winkel ψ wird, ſo erhält man nach Gleichung 169

$$\rho = \frac{r}{\sin\psi^2} = \frac{r}{\left(\frac{\operatorname{tg}\psi}{\sqrt{1+\operatorname{tg}\psi^2}}\right)^2} = \frac{r\,(1+\operatorname{tg}\psi^2)}{\operatorname{tg}\psi^2} = r + \frac{r}{\operatorname{tg}\psi^2}$$

oder unter Benutzung von Gleichung 174

$$\rho = r + r\left(\frac{180^0\gamma}{\pi r \beta}\right)^2 = r + \left(\frac{180^0\gamma}{\pi\beta^0}\right)^2\frac{1}{r} \quad \ldots \quad 175.$$

und ferner nach Gleichung 170

$$\rho_1 = \frac{r}{\cos\psi^2} = \frac{r}{\left(\frac{1}{\sqrt{1+\operatorname{tg}\psi^2}}\right)^2} = r\,(1+\operatorname{tg}\psi^2),$$

d. h. unter Verwerthung von Gleichung 174

$$\rho_1 = r\left[1 + \left(\frac{\pi r \beta^0}{180^0\gamma}\right)^2\right] = r + \left(\frac{\pi r \beta^0}{180^0\gamma}\right)^2 r. \quad \ldots \quad 176.$$

Die beiden Gleichungen 175 u. 176 ftimmen mit den früher gefundenen Ausdrücken für die Krümmungshalbmeffer der Schraubenlinien der Gleichungen 127 u. 130 (S. 174), wie vorauszufehen war, vollftändig überein.

Für die Ellipfen der Cylinderfläche z, alfo der Rückenfläche des fchiefen Gewölbes, ergiebt fich unter der Beftimmung $\sigma = \psi$ und bei der Benutzung von Gleichung 171 nach Gleichung 175

$$\rho_2 = (r + d)\left[1 + \left(\frac{180^0 \gamma}{\pi r \beta^0}\right)^2\right], \quad \ldots \quad 177.$$

fo wie nach Gleichung 176

$$\rho_3 = (r + d)\left[1 + \left(\frac{\pi r \beta^0}{180^0 \gamma}\right)^2\right]. \quad \ldots \quad 178.$$

Da die Abmeffungen der einzelnen Wölbfteine im Verhältnifs zu den Halbmeffern der Leitlinien der Cylinderflächen immer noch als klein anzufehen find, fo können, wie fchon in Art. 134 (S. 173) erwähnt ift, die Krümmungshalbmeffer ρ, ρ_1, ρ_2 und ρ_3 zur Beftimmung der Brettungen, bezw. der keilförmigen Verjüngung der Wölbfteine benutzt werden. Bei recht grofsen Abmeffungen der Wölbfteine hätte man für die Brettungen die von den zugehörigen Ellipfen begrenzten Flächenftücke in Betracht zu ziehen. Die Längen der reellen Axen diefer Ellipfen ergeben fich nach den Gleichungen 165 bis 168.

Beifpiel. Für ein fchiefes Gewölbe (Fig. 349) fei der Normalfchnitt N ein Halbkreis mit dem Halbmeffer $r = 2$ m; die Dicke d des Gewölbes betrage 0,6 m; der Winkel α der Schiefe fei 30 Grad, und der Centriwinkel β ift 180 Grad.

Man erhält nach Gleichung 173

$$\gamma = 2 \cdot 2 \cdot \sin 90 \cdot \operatorname{tg} 30 = 4 \operatorname{tg} 30 = 4 \cdot 0{,}5774 = \backsim 2{,}31 \text{ m}.$$

Alsdann ift nach Gleichung 175

$$\rho = 2 + \left(\frac{180 \cdot 2{,}31}{3{,}1416 \cdot 180}\right)^2 \cdot \frac{1}{2} = 2{,}27 \text{ m}.$$

Ferner wird nach Gleichung 176

$$\rho_1 = 2 + \left(\frac{3{,}1416 \cdot 2 \cdot 180}{180 \cdot 2{,}31}\right)^2 2 = 16{,}80 \text{ m}.$$

Endlich liefern die Gleichungen 177 u. 178

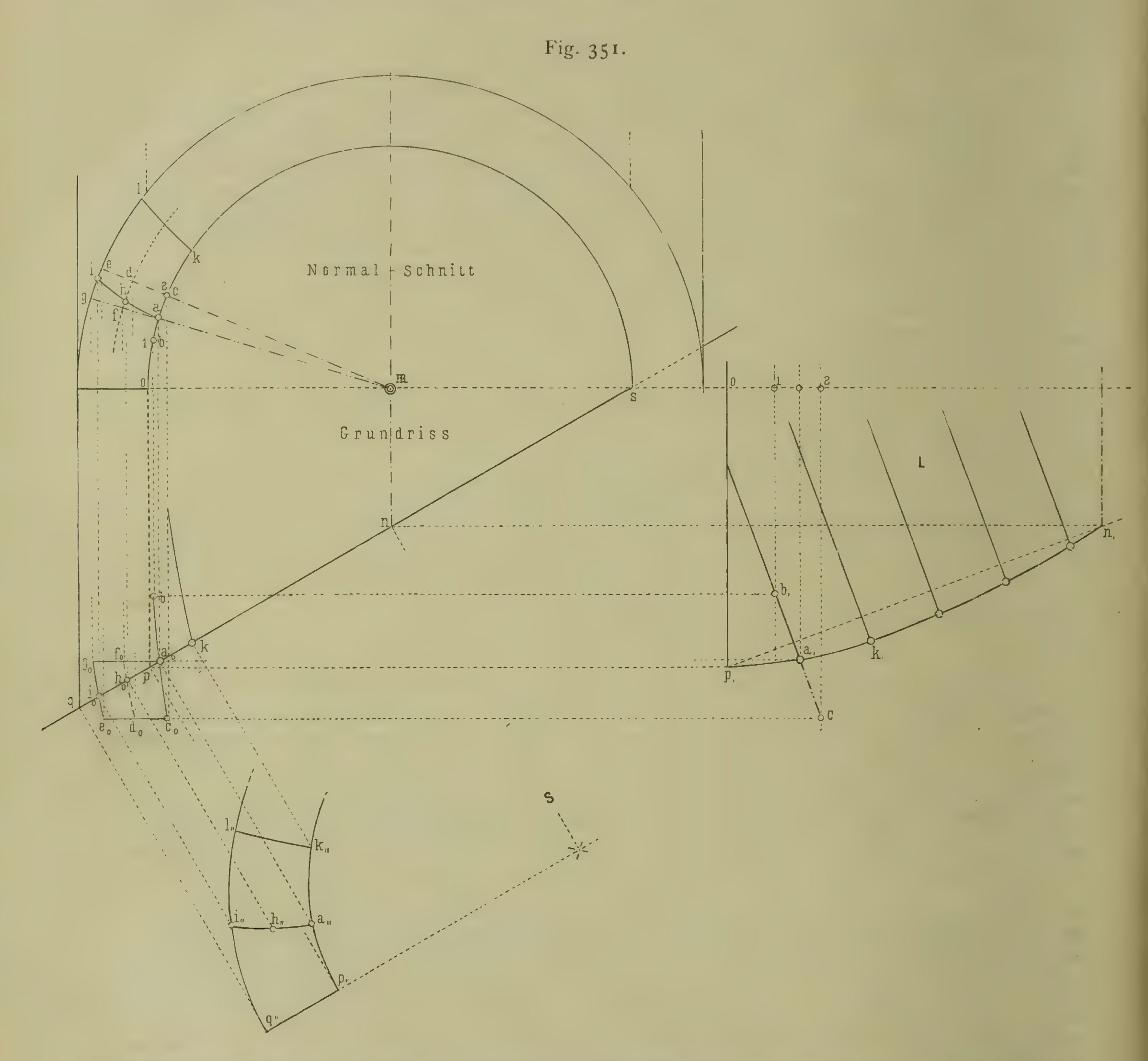
$$\rho_2 = 2{,}95 \text{ m} \quad \text{und} \quad \rho_3 = 21{,}84 \text{ m}.$$

Sind, wie in Fig. 349 gefchehen, die Projectionen des Wölbfteines nach den in Art. 134 (S. 171) gemachten Angaben, hier jedoch ohne weitere Zuhilfenahme der abgewickelten Rückenfläche des Gewölbes, beftimmt; find ferner durch das hier mit einem, der Deutlichkeit wegen übertrieben grofsen, Uebermafse (Arbeitszoll) verfehene Rechteck $qsvw$, welches die lothrechte Projection des Wölbfteines umfchliefst, die Länge und Höhe des Werkftückes, fo wie durch die Länge der Linie pt im Plane N die Dicke diefes Quaders, woraus der Wölbftein gefertigt werden foll, feft gefetzt — fo ift z. B. für die Brettung I zunächft nur nöthig, den Punkt $\alpha_{,}$, wofür $t\alpha_{,} = t\alpha$ im Plane N und den Punkt $\beta_{,}$, wofür $t\beta_{,} = t\beta$ deffelben Planes N ift, einzutragen. Verlängert man die Gerade $\beta_{,}\alpha_{,}$ und nimmt man $\alpha_{,}m = \rho$, $\beta_{,}m_2 = \rho_2$, fo find m und m_2 die Mittelpunkte für die Kreisbogen, auf welchen die Punkte $a_{,}$, $b_{,}$, fo wie $A_{,}$, $B_{,}$ liegen. Die Lage diefer Punkte ift aus den Projectionen leicht zu beftimmen. Die Linien $a_{,}A_{,}$ und $b_{,}B_{,}$ find gerade Linien. Für die Brettung II liegen die Punkte $b_{,}$ und $d_{,}$ auf einem Kreisbogen vom Halbmeffer $\rho_{,}$, während die Punkte $B_{,}$ und $D_{,}$ auf einem Kreisbogen vom Halbmeffer ρ_3 fich befinden. Die Lagen von $b_{,}$, $d_{,}$ und $B_{,}$, $D_{,}$ ergeben fich in einfacher Weife aus den Projectionen des Wölbfteines, indem z. B. für den Punkt $d_{,}$ der Brettung II die Ordinate $ld_{,} = ld$ im Plane N ift u. f. f. Auch bei diefer Brettung find $b_{,}B_{,}$ und $d_{,}D_{,}$ gerade Linien. Ueber das Anlegen der Brettungen I und II an das betreffende Werkftück und das Bearbeiten deffelben, unter Heranziehen der für die Schraubenlinien ab, bd u. f. f. der lothrechten Projection des Wölbfteines angefertigten Schablonen, gilt wefentlich das in Art. 171 (S. 248) beim Schneckengewölbe angegebene Verfahren. Hier ift nur zu bemerken, dafs die Brettung I fowohl für die obere, als auch für die untere Steinfläche, die Brettung II ebenfalls für die vordere und hintere Steinfläche zu benutzen find, wenn diefe Schablonen nur entfprechend den Lagen der zugehörigen Grenzpunkte des Wölbfteines auf den zu bearbeitenden Stein gelegt werden.

Der in Fig. 349 im Bilde gegebene Stein zeigt wohl genügend die unter Beobachtung der Geraden ut, bezw. $u_{,}p$, welche durch den Schmiegewinkel ψ beftimmt find, erforderlichen Handhabungen für das Anlegen der Brettungen und das danach einzuleitende Bearbeiten des Gewölbfteines G, welcher nach Befeitigung der Boffen O, F, L, K entfteht.

Eine beſondere Aufmerkſamkeit erfordert bei der Anwendung des engliſchen Fugenſchnittes die Bearbeitung der Stirnſteine. Die Stirnebene des Gewölbes ſchneidet die ſchraubenförmigen Lagerfugenflächen deſſelben im Allgemeinen in nach unten convexen Curven, ſo daſs für jeden rechts und links ſymmetriſch vom Schluſsſtein liegenden Wölbſtein eine beſondere Stirnſchablone nöthig wird. In Fig. 351 iſt für einen Stein eine Stirnbrettung $a_{,,}\ i_{,,}\ k_{,,}\ l_{,,}$ ermittelt.

Fig. 351.



Der Normalſchnitt des ſchiefen Gewölbes iſt als Halbkreis angenommen und in L ein Stück der Abwickelung der Laibungsfläche des Gewölbes gezeichnet.

Auf der Fläche L ſind die durch $a, k,$ u. ſ. f. recktwinkelig auf $p, n,$ ſtehenden, abgewickelten Lagerfugenkanten eingetragen, wobei die Kante $b, a',$ noch beliebig bis $c,$ verlängert iſt. Hier liegt der Punkt $c,$ auf der Erzeugenden 2, wofür die Länge $o\,2$ gleich der Bogenlänge $o\,2$ im Normalſchnitte iſt. Da die Lagerfugenflächen dadurch erzeugt werden, daſs in jedem Punkte der ſchraubenförmigen Lagerkante eines Wölbſteines eine gerade Linie vorhanden ſein ſoll, welche normal zur inneren Gewölbfläche ſteht, ſo giebt der im Normalſchnitte durch m und 2 geführte Halbmeſſer $m\,e$ dieſe gerade Linie in der Strecke $c\,e$ an. Der Punkt e iſt der Durchſtoſspunkt derſelben mit der Rückenlinie des Gewölbes; die wagrechte Projection der Geraden $c\,e$ ergiebt ſich auf der Spur der durch $c,$ parallel zum Normalſchnitt geführten Ebene als $c_0\,e_0$. Wird zwiſchen den Punkten c und e des Normalſchnittes noch irgend ein

durch d geführter Kreis gelegt, welcher als Leitlinie einer Cylinderfläche angeſehen werden kann, ſo würde auch d ein Durchſtoſspunkt von ce mit dieſer Cylinderfläche ſein. Die wagrechte Projection desſelben iſt d_0.

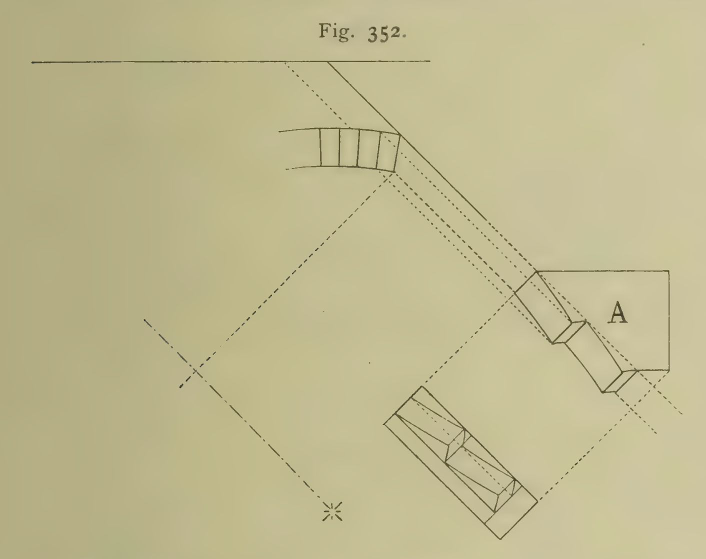
Verfährt man in gleicher Weiſe mit der Geraden ag, ſo erhält man die wagrechten Projectionen der Durchſtoſspunkte a, f, g in a_0, f_0, g_0. Setzt man dieſe Darſtellungen fort, ſo ergeben ſich offenbar in $c_0 a_0$, $d_0 f_0$ und $e_0 g_0$ die wagrechten Projectionen von Schraubenlinien, welche auf den durch c, bezw. a gehenden Lagerfugenflächen liegen.

Dieſe Schraubenlinien durchſchneiden die Stirnebene qs des ſchiefen Gewölbes in den Punkten a_0, h_0 und i_0. Die lothrechten Projectionen befinden ſich bezw. auf den durch a, d und e gehenden Kreiſen des Normalſchnittes, ſind alſo in a, h und i beſtimmt. Die Verbindungslinie ahi dieſer Punkte iſt die lothrechte Projection der Schnittlinie der Schraubenfläche, welche der durch a gehenden Lagerkante zukommt, mit der Ebene der Gewölbſtirn.

Projicirt man dieſe Schnittlinie in die Stirnebene S auf bekanntem Wege, ſo erhält man die wirkliche Geſtalt $a_{,,} h_{,,} i_{,,}$ derſelben.

Wendet man das angegebene zeichneriſche Verfahren auch für die durch k gehende Lagerkante an, ſo erhält man in $k_{,,} l_{,,}$ die zugehörige Schnittlinie und in dem ebenen Flächenſtücke $a_{,,} h_{,,} i_{,,} l_{,,} k_{,,}$ die nöthige vordere Brettung für den hier gewählten Stirnſtein.

Fig. 352.



Die Beſtimmung der Brettungen für die Kämpferſteine wird, nachdem die Projectionen derſelben ermittelt ſind, ſo weit dabei die Anſätze für die Wölbſteine in Frage kommen, nach den für dieſe Steine gegebenen Vorſchriften bewirkt. Die übrigen Begrenzungsflächen ergeben ſich als Ebenen, welche unmittelbar nach den Projectionen derſelben feſt gelegt werden können. Bei nicht ſehr breiten Wölbſteinen läſst man zweckmäſsig zwei Wölbſcharen gegen einen Kämpferſtein A treten, welcher alsdann, wie Fig. 352 zeigt, eine dem entſprechende Länge erhält.

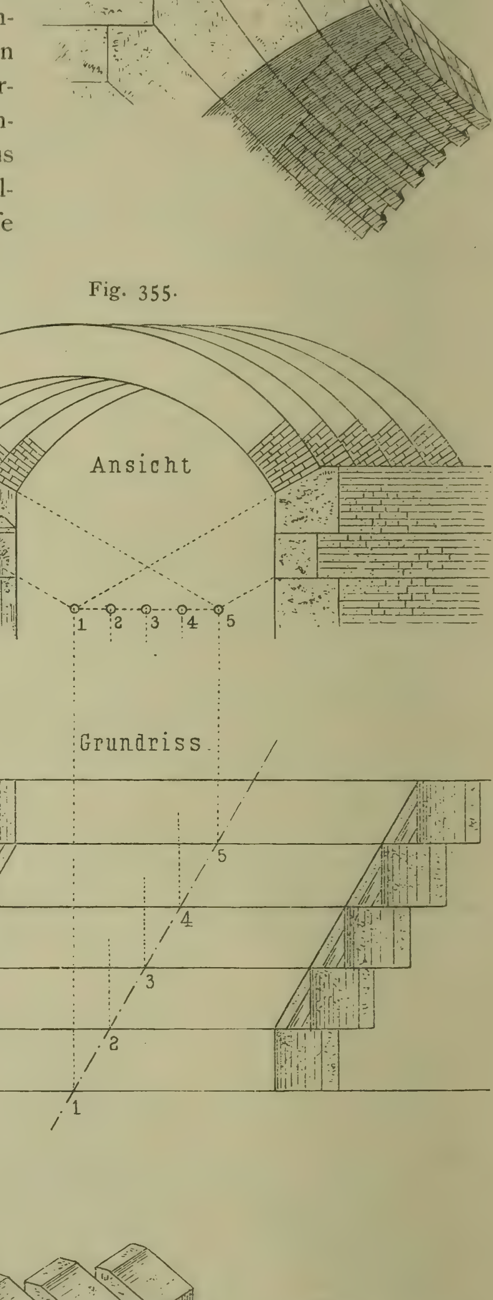
Fig. 353.

Schiefe Gewölbe, welche vollſtändig aus Hauſteinen hergeſtellt werden ſollen, ſind in Folge der erheblicheren, durch die beſondere Geſtalt der Wölbſteine entſpringenden Steinhauerarbeiten nicht billig. Um die Koſten für ſchiefe Gewölbe zu vermindern, können dieſelben auch aus Backſteinmaterial ausgeführt werden, wobei jedoch unter ſonſtiger Beobachtung

des engliſchen oder auch des franzöſiſchen Fugenſchnittes, zur Vermeidung des häſslichen und unzweckmäſsigen Verhauens der Backſteine an den Kämpfern und den Häuptern, ſowohl die Kämpferſteine als auch die Stirnſteine am rathſamſten aus Quadern, wie in Fig. 353 u. 354 angegeben, angefertigt werden. Zwiſchen den zuſammengehörigen Kämpfer- und Stirnſteinen ſind alsdann die aus Backſtein beſtehenden Wölbſcharen in regelrechtem Verbande in gewöhnlicher Wölbweiſe einzubringen.

Fig. 354.

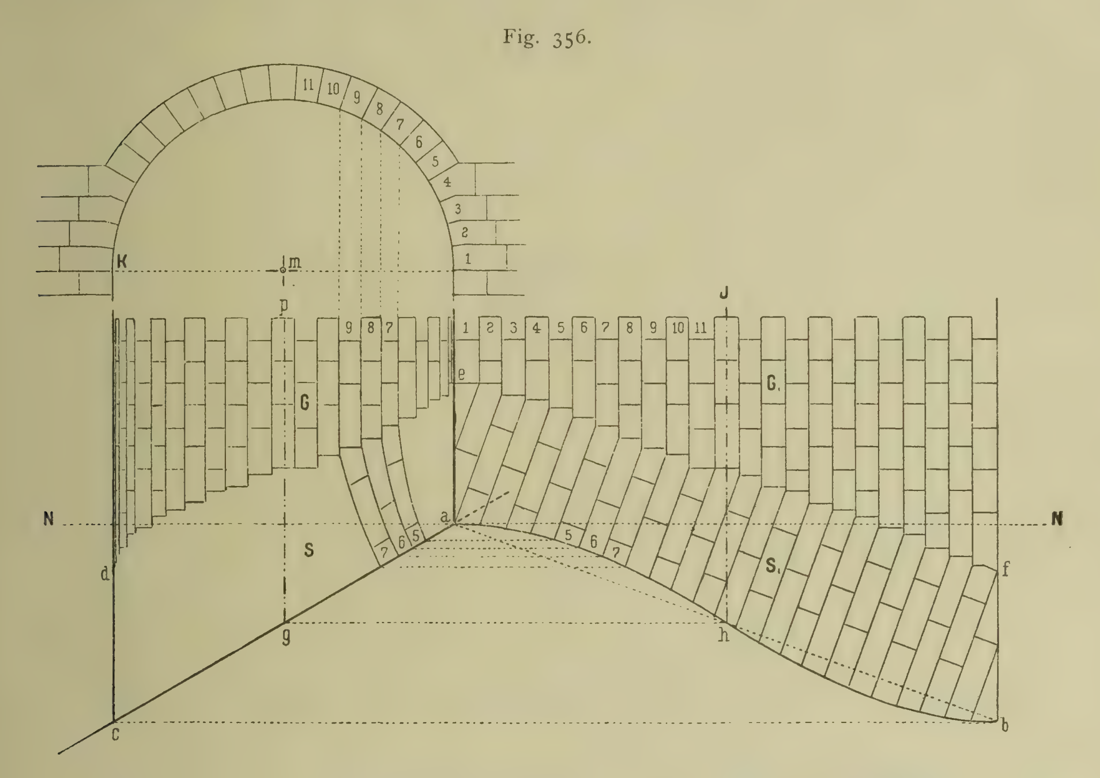
Fig. 355.



Um die Schwierigkeiten, welche bei der Ausführung von ſchiefen Gewölben in gewiſſem Grade immer entſtehen, zu beſeitigen, können verſchiedene mehr oder weniger gute Aenderungen in der Gewölbebildung derſelben vorgenommen werden. Die einfachſte Anordnung zum Umgehen des rechtmäſsigen Wölbens ſchiefer Gewölbe beſteht nach Fig. 355 darin, daſs man einzelne parallel zur Stirn geſtellte Gurtbogen *1*, *2* u. ſ. f. als kurze gerade Tonnengewölbe neben einander ausführt, welche unter ſich eine Verbindung durch eiſerne Anker erhalten. Die geſammte Laibungsfläche dieſer Gewölbebildung zeigt alsdann ſichelartige lothrechte Flächen neben den cylindriſchen Flächen der Gurte, wodurch kein beſonders ſchönes Ausſehen entſpringt. Zweckmäſsig werden

die Kämpferfteine *A* auch bei folchen Anlagen aus Werkftücken angefertigt, welche entweder, wie bei *B*, mit der dreieckigen wagrechten Fläche *a* belaffen oder, wie bei *C*, mit einem Eckauslauf verfehen werden. In langen fchiefen Gewölben kann vortheilhaft bei Quadermaterial, wie Fig. 356 giebt, an den Stirnen ein Stück *S* als fchiefes Gewölbe mit richtigem englifchen oder, wenn man will, mit franzöfifchem Fugenfchnitt ausgeführt und hiermit ein längeres als gerades Gewölbe angeordnetes Stück *G* in Verbindung gebracht werden. Die Ausmittelung des Steinverbandes ift aus der Zeichnung unter Beachtung der abgewickelten Laibungsfläche des fchiefen Gewölbes erfichtlich. Durch eine derartige Anordnung wird an den Koften für das Bearbeiten der Wölbfteine erheblich gefpart.

Fig. 356.

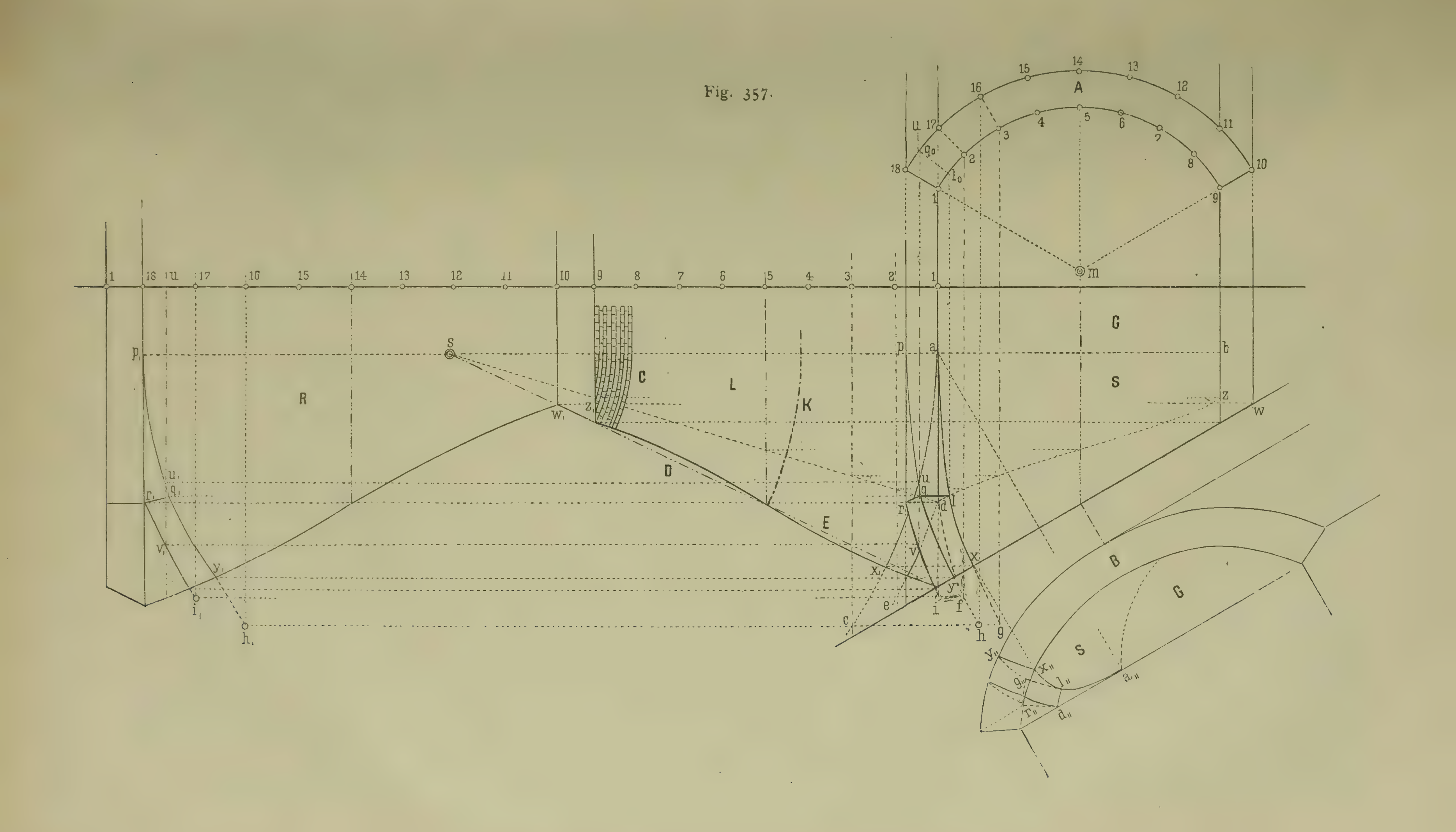


Sollte das Stück des geraden Gewölbes *G* aus Backftein ausgeführt werden, während die fchiefen Quadergewölbe *S* verblieben, fo erwachfen dabei keine Schwierigkeiten.

Bei längeren fchiefen Gewölben, welche vollftändig aus Backfteinmaterial ausgeführt werden follen, ift ein Verband anzuordnen, welcher in Fig. 357 näher gekennzeichnet ift.

Wieder ift an den Häuptern ein kürzeres Stück *S* eines fchiefen Gewölbes, dazwifchen aber ein längeres Stück *G* eines gewöhnlichen geraden Gewölbes angeordnet. Die Lagerkanten der fchiefen Gewölbetheile bilden in der Abwickelung *L* der Laibungsfläche des Gewölbes mit dem Kreisbogen *K* concentrifche Kreisbogen *C*. Der gemeinfchaftliche, auf der Fläche *L* liegende Mittelpunkt *s* diefer Kreisbogen ift der Schnittpunkt der verlängerten Grenzlinie *ab* des geraden Gewölbes *G* und der weiter geführten Sehne *DE* der abgewickelten Stirnlinie des fchiefen Gewölbes *S*. Die Stofskanten der fchiefen Gewölbftücke find auf der abgewickelten Laibungsfläche in geraden Linien enthalten, welche einer radialen Richtung *sa*, *sd* u. f. f. folgen. Auf die Wölbfläche zurückgefchlagen, liegen die Stofskanten auf durchweg verfchiedenen Schraubenlinien, wovon eine *dz* derfelben, entfprechend *dz*, der Abwickelung, gezeichnet ift. Die auf die Wölbfläche zurückgebrachten kreisförmigen Lagerkanten bilden befondere Curven, welche

Fig. 357.



wie ag, entfprechend dem Kreisbogen ac der Abwickelung, oder wie df, entfprechend dem Kreisbogen de, mit Hilfe der Cylinder-Erzeugenden *1*, *2*, *3*, wie aus der Zeichnung erfichtlich ift, beftimmt werden können. Die Erzeugenden der Lagerfugenflächen find gerade Linien, welche in jedem Punkte der Lagerkante ftreng genommen normal zur Laibungsfläche des cylindrifchen Gewölbes ftehen follen. So ift z. B. für den Punkt l, deffen lothrechte Projection l_0 ift, die Gerade $l_0 q_0$, welche nach dem Mittelpunkte m des Normalfchnittes des Gewölbes gerichtet wird, eine folche Erzeugende. Da diefelbe in einer rechtwinkelig zur Gewölbaxe ftehenden Ebene liegt, fo erhält man ihre wagrechte Projection in lq und hierdurch die Projection einer etwa hier vorhandenen Stofsflächenkante eines Backfteines. In gleicher Weife ift dr beftimmt. Ermittelt man auf dem fchon früher in Fig. 280 angegebenen Wege die den Lagerkanten ag, df zugehörigen Rückenlinien $pqyh$, bezw. rvi, fo ift die wagrechte Projection der Lagerfugenflächen für diefe Lagerkanten zu erhalten.

Bringt man die Rückenlinien in die abgewickelte Rückenfläche des Gewölbes R zurück, was mit Hilfe der Erzeugenden *16*, *17*, U, *18* der Cylinderfläche leicht gefchehen kann, fo ergiebt fich die allgemeine Anordnung des Fugenfchnittes im fchiefen Gewölbe S, wobei die Stofsfugenkanten dl, qr, Schraubenlinien folgend, fich ebenfalls in einfacher Weife ermitteln laffen.

In der Stirnanficht B find die Curven $a_{,,} l_{,,} x_{,,}$ und $q_{,,} y_{,,}$, den Kantenlinien alx, bezw. qy entfprechend, eingetragen.

Wenngleich die hier gegebenen zeichnerifchen Darftellungen bei der Berückfichtigung von Backfteinmaterial mehr in den Hintergrund treten können, fo ift doch befonders darauf Rückficht zu nehmen, fobald die in der Zeichnung behandelte Verbandart und Gewölbeanordnung für eine Quaderausführung in den fchiefen Gewölbetheilen in Anwendung kommen foll, zumal eine folche Löfung eine fchönere Geftaltung des gefammten Gewölbes zuläfft, als folche nach Fig. 356 möglich ift.

Für eine faubere und tadellofe Ausführung der fchiefen Gewölbe ift eine gute gefchloffene Schalung der parallel zur Stirn aufgeftellten Lehrbogen herzurichten. Auf diefer Schalung find die Fugenlinien der Wölbfteine vorzureifsen. Diefes Aufzeichnen der Fugenlinien mit Hilfe eines biegfamen Lineals (Blechftreifen) und des gebräuchlichen Winkeleifens wird namentlich beim englifchen Fugenfchnitt fehr einfach, fobald unter Benutzung einer gefärbten Schnur auch die erzeugenden geraden Linien der cylindrifchen Wölbfläche, welche den einzelnen Fugenlinien nach Ausweis der Zeichnung in beftimmten Punkten angehören, mit aufgefchnürt werden. Diefen aufgezeichneten Fugenlinien folgend, werden die in den Schichten entfprechend bezeichneten Gewölbquader forgfam verfetzt. Bei fchiefen Backfteingewölben werden natürlich die Fugenlinien nur gruppenweife für eine gröfsere Zahl von neben einander liegenden Wölbfcharen aufgeriffen.

173.
Einhüftige Gewölbe.

Die Ausführung der einhüftigen Tonnengewölbe richtet fich genau nach der Bauweife, welche für das einfache gerade Tonnengewölbe angegeben ift. Da bei den einhüftigen Gewölben gefchloffene Stirnmauern meiftens fehlen oder doch nur als Blendmauern ab und an eingefügt auftreten, fo kommt bei diefen Gewölben, gleichgiltig welches Material auch zur Einwölbung benutzt wird, wefentlich der gewöhnliche Verband auf Kuf in Anwendung.

10. Kapitel.

Kappengewölbe.

(Preufsifche Kappen.)

a) Geftaltung der Kappengewölbe.

174.
Geftalt.

Das Kappengewölbe oder die preufsifche Kappe ift im Allgemeinen der obere Abfchnitt eines geraden Tonnengewölbes. Seine Laibungsfläche ift demnach ein Theil der halben Oberfläche eines geraden Kreiscylinders, fo dafs die Wölblinie ein flacher Kreisbogen wird. Das Pfeilverhältnifs diefer Wölblinie ift ftets gering, fo dafs danach diefes Gewölbe als ein fog. flachbogiges auftritt. Für dieses Pfeilverhältnifs ift im Hochbauwefen $\frac{1}{12}$ bis $\frac{1}{7}$ in Anwendung gekommen.

Zweckmäfsig wird aber die Wölblinie fo genommen, dafs die Pfeilhöhe derfelben $\frac{1}{8}$ der Spannweite beträgt oder, was nahezu daffelbe ift, wenn die Wölblinie als Kreisbogen befchrieben wird, deffen Halbmeffer nach Fig. 358 gleich der Spannweite des zu bildenden Kappengewölbes ift.

Fig. 358.

Die Rückenlinie der meiftens nur ½ bis 1 Backftein ftarken Kappengewölbe, die kurz auch nur »gerade Kappen« oder »Kappen« genannt werden, ift in der Regel ein mit der inneren Wölblinie concentrifch befchriebener Kreisbogen.

Von anderen gefetzmäfsig gebildeten krummen Linien macht man für die Wölblinien der Kappengewölbe keinen Gebrauch. Auch die Spannweite derartiger Gewölbe, welche von vornherein in das Bauwefen eingeführt find, um bei den für Hochbauten damit zu fchaffenden Decken eine möglichft geringe Conftructionshöhe zu erzielen, ift auf geringe Abmeffungen bis höchftens auf etwa 5 m zu befchränken.

Hieraus ergiebt fich, dafs die Geftaltung des Kappengewölbes, welches, weil es vielfach in Preufsen ftatt des Tonnengewölbes zur Deckenbildung für Kellerräume, Gänge, Gefchäftszimmer u. dergl. in Anwendung gekommen ift und noch benutzt wird, auch »preufsifche Kappe« genannt wird, eine äufserft einfache ift.

175.
Ueberwölbung gröfserer Räume.

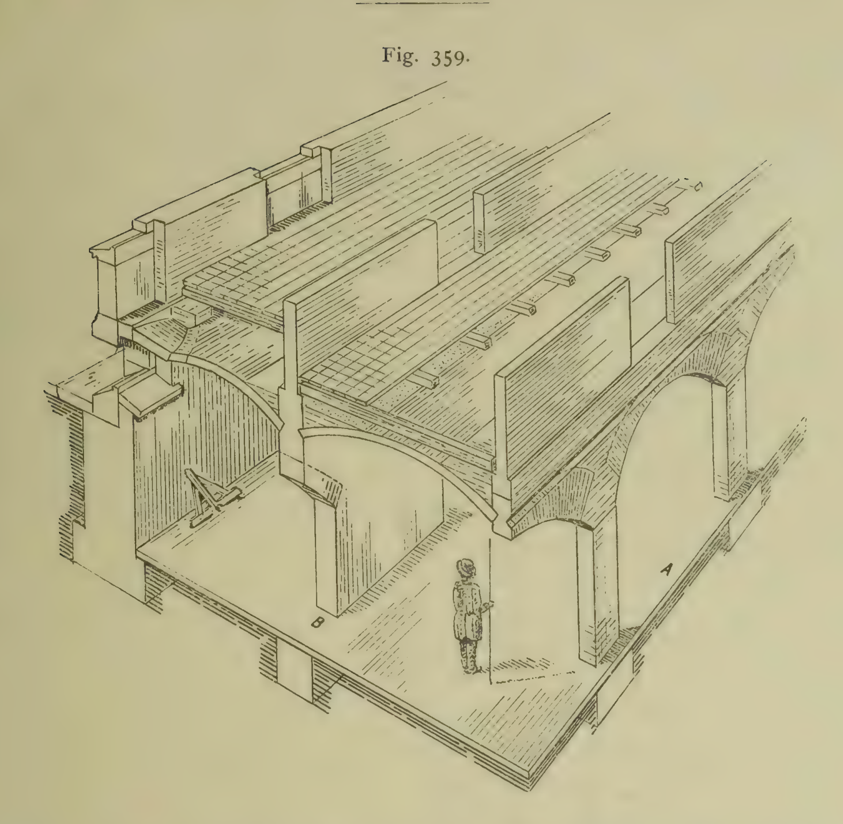
Soll ein gröfserer Raum mit Kappengewölben überdeckt werden, fo find bei der verhältnifsmäfsig eng begrenzten Spannweite derfelben mehrere Gewölbjoche zu bilden (Fig. 359), welche fich gegen befonders herzurichtende, den Raum, bezw. die Decke trennende Trag-Conftructionen *A*, *B*, und fchliefslich in den beiden äufserften Jochen oder Feldern gegen die Umfangsmauern des Raumes legen.

Diefe eingefügten, wiederum als Widerlager der einzelnen neben einander liegenden Kappengewölbe auftretenden Zwifchen-Conftructionen können fein:

1) volle Mauern;

2) kleinere und fchmalere flachbogige oder tonnengewölbartige Bogenftellungen, fog. Gurtbogen, deren Axen rechtwinkelig zu den Axen der Kappengewölbe ftehen;

Fig. 359.



3) eiferne Träger, welche parallel mit den Gewölbaxen laufen und nur an den Enden aufruhen oder auch noch zwifchen den Endauflagern durch Säulen oder andere Freiftützen, unter Umftänden auch durch Unterzüge unterftützt find (fiehe auch unter A, Kap. 1, unter a u. b).

Diefe Anordnungen geftatten für die Gefammtgeftaltung der Kappengewölbe über gröfseren Räumen dennoch eine möglichft freie Benutzung derfelben und namentlich bei der geringen Conftructionshöhe folcher Gewölbzüge auch die Anlage entfprechend hoher Licht-, bezw. Thüröffnungen in den Umfangsmauern des zu überdeckenden Raumes, nicht allein in den rechtwinkelig zu den Gewölbaxen ftehenden Schildmauern, fondern auch in den eigentlichen Widerlagsmauern. Hierdurch bietet in diefer Beziehung das Kappengewölbe dem Tonnengewölbe gegenüber grofse Vortheile. Werden dennoch auch bei Kappengewölben für die Licht- oder Thüröffnungen unter Umftänden Stichkappen erforderlich, fo gilt für diefe das fchon beim Tonnengewölbe in Art. 133 (S. 161) Mitgetheilte. Von einer eigentlichen Gliederung der Kappengewölbe durch Stichkappen hat man nicht zu fprechen.

b) Stärke der Kappengewölbe und ihrer Widerlager.

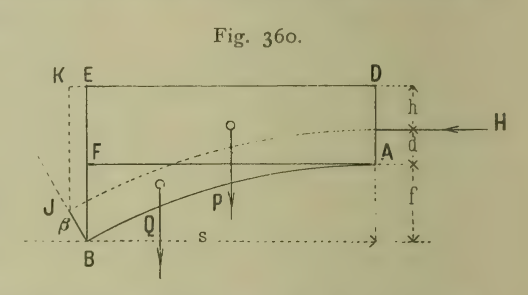
176. Prüfung der Gewölbftärke.

Die Stabilitätsunterfuchungen der Kappengewölbe und ihrer Widerlager weichen in ihren Grundlagen von denjenigen der Tonnengewölbe nicht ab, gleichgiltig ob die Kappengewölbe, was allerdings felten der Fall ift, unbelaftet bleiben oder ob diefelben eine mehr oder weniger grofse Belaftung zu tragen haben, und es kann in diefer Beziehung auf das bereits im vorhergehenden Kapitel (unter b) Gefagte verwiefen werden. Da aber in der Praxis die Widerlagsmauern der Kappengewölbe nicht immer eine folche Stärke erhalten können, dafs diefelben fähig find, namentlich wenn ihnen eine

bedeutendere Höhe nicht gegeben werden kann, dem Gewölbschube ohne Weiteres in erwünschtem Grade und mit Sicherheit den nöthigen Widerstand zu leisten, so nimmt man in solchen Fällen auf eine besondere Sicherung der Widerlager gegen die nachtheiligen Einwirkungen des Gewölbschubes Rücksicht. In der Regel wird diese Sicherung der Widerlager durch eiserne Anker (Zugstangen, Schlaudern, Schliessen) bewirkt. Dieselben werden in gewissen Entfernungen von einander in rechtwinkeliger Richtung zur Axe der Kappengewölbe, und zwar am besten wagrecht durch die Kämpferpunkte, eingeführt. Sie sollen in möglichst erreichbarem Grade eine gegenseitige Verspannung der einander gegenüber liegenden Widerlagsmauern und hierdurch eine grössere Standfähigkeit derselben veranlassen.

Für die Bestimmung des Querschnittes der Ankerstangen ist der Horizontalschub der Kappengewölbe zunächst massgebend. Derselbe könnte nach Gleichung 159 (S. 192) berechnet werden. Bei Kappengewölben, deren Dicke selten mehr als eine Backsteinlänge beträgt, kann man jedoch unter Bezugnahme auf Fig. 360 den Gewölbschub H, symmetrische Gestaltung und Belastung mit wagrechter Abgrenzung, so wie eine Einwölbung auf Kuf für das Gewölbe vorausgesetzt, nach einem vereinfachten Ausdrucke ermitteln. Hierbei wird das über der meistens unter einem grossen Winkel β zur Wagrechten geneigten Kämpferfuge ruhende Stück $BEJK$ der gesammten Belastungsfläche $ADKJB$ als verhältnissmässig sehr klein vernachlässigt. Der hierdurch begangene Fehler ist an sich geringfügig; er veranlasst, wie aus Gleichung 159 zu ersehen ist, einen etwas vergrösserten Werth des Gewölbschubes H, was im vorliegenden Falle bei der Stabilitätsbestimmung des Gewölbes und seiner Widerlager nur als günstig zu bezeichnen ist.

Fig. 360.



Den in Art. 138 (S. 190) für das Tonnengewölbe gegebenen Entwickelungen ganz entsprechend, erhält man alsdann für den Gewölbeschub bei Kappengewölben, bei einer Tiefe gleich der Längeneinheit, den einfacheren Ausdruck

$$H = \frac{s^2}{12\,(d+f)}\,[6\,(d+h)+f] \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.} \quad 179.$$

Eben so ergiebt sich bei der eingeführten Vereinfachung für die Belastungsfläche $ADEFB$ der Werth

$$G = s\left(d + h + \frac{f}{3}\right) \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.} \quad 180.$$

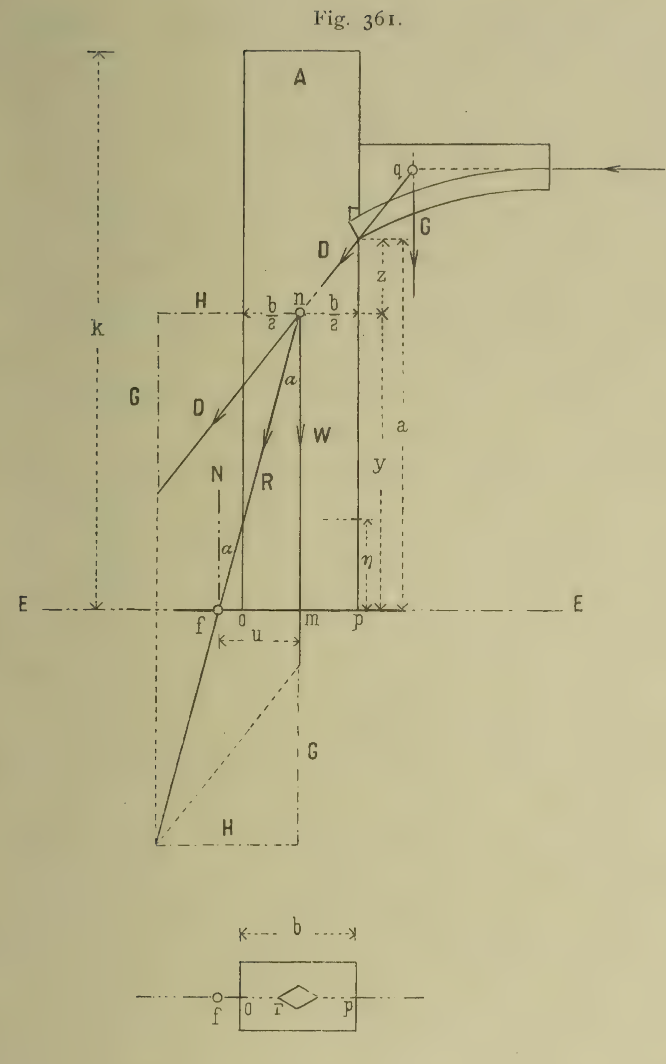
In diesen beiden Gleichungen bedeuten s die halbe Spannweite, f die Pfeilhöhe, d die Scheitelstärke und h die Höhe der Belastung über der Rückenlinie im Scheitellothe des Gewölbes (in Met.).

177. Prüfung der Widerlagsstärke.

Die Berechnung der Widerlagsstärke würde nach der in Art. 145 (S. 208) gegebenen Gleichung erfolgen können. Da aber bei Kappengewölben die Bestimmung der Widerlagsstärke möglichst schnell schon beim Entwurfe des Gewölbeplanes vorzunehmen ist, so soll hier die dafür massgebende Ermittelung in einem anderen Gewande gegeben werden.

In Fig. 361 bezeichne A den Höhenschnitt des Widerlagskörpers, dessen Länge 1 m beträgt. Der Einfachheit halber und mit der praktischen Ausführung auch

Fig. 361.



meiſtens übereinſtimmend, iſt dieſer Höhenſchnitt als ein ſtehendes Rechteck von der Breite b Met. und der Höhe k Met. angenommen.

Der Horizontalſchub H des Gewölbes und das Gewicht G der Gewölbhälfte ſetzen ſich in q zu dem reſultirenden Gewölbdruck D zuſammen. Vereinigt man dieſen Druck in n mit dem Gewichte W des betrachteten Widerlagskörpers zur Mittelkraft R, ſo möge dieſelbe die Ebene EE der feſten und widerſtandsfähigen Grundfläche des Mauerkörpers in einem Punkte f treffen, deſſen Abſtand mf von der Mitte m der Grundfläche allgemein das Maſs u beſitzen möge. Der Neigungswinkel nfN, welchen die Mittelkraft R mit einer zu EE Lothrechten fN einſchlieſst, ſei α. Wie aus der Zeichnung und aus einfachen geometriſchen Beziehungen erſichtlich, iſt ſofort $\frac{u}{y} = \frac{H}{G+W}$, alſo $u = \frac{H}{G+W} y$. Nun iſt $y = a - z$ und, da $\frac{z}{\frac{b}{2}} = \frac{G}{H}$, alſo $z = \frac{bG}{2H}$, auch $y = \frac{2aH - bG}{2H}$; ferner iſt bei dem rechtwinkeligen Querſchnitte des Mauerkörpers $W = bk$. Unter Benutzung dieſer Werthe für y und W wird

$$u = \frac{2aH - bG}{2(G + bk)} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 181.$$

In dieſem Ausdrucke iſt a der lothrechte Abſtand der Kämpferlinie von der Ebene EE (in Met.)

Die Gleichung 181 hat aber nur Giltigkeit, wenn das Eigengewicht des Wölbmaterials und die auf daſſelbe zurückgeführte Belaſtung des Gewölbes dem Eigengewichte des Mauerkörpers vom Widerlager gleich iſt.

Iſt dagegen eine derartige Uebereinſtimmung im Eigengewicht, wie recht oft der Fall, nicht vorhanden, ſo iſt, wenn γ das Einheitsgewicht für das Wölbmaterial und die Belaſtung, γ_1 dagegen das Einheitsgewicht des Materials der Widerlags-

mauer bezeichnet, zu beachten, dafs H und G mit γ und W mit γ_1 multiplicirt werden müffen. Hiernach wird nach Gleichung

$$u = \frac{2aH\gamma - bG\gamma}{2(G\gamma + bk\gamma_1)} = \frac{2aH - bG}{2\left(G + bk\frac{\gamma_1}{\gamma}\right)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 182.$$

Ift in einem befonderen Falle die Stärke b des Widerlagskörpers gegeben, fo läfft fich nach Gleichung 182 der Abftand $u = mf$ berechnen. Ift alsdann $u > \frac{b}{2}$ gefunden, fo ift kein Gleichgewicht gegen Drehen um die Kante o der Grundfläche des Widerlagers vorhanden; die Abmeffung b ift zu gering.

Ift $u = \frac{b}{2}$ berechnet, fo ift eben der Grenzwerth für den Gleichgewichtszuftand gegen Drehen um die Kante o gekennzeichnet; ift endlich $u < \frac{b}{2}$, fo tritt fchon ein Sicherheitsgrad für die Stabilität der Widerlagsmauer ein. So lange $u = \frac{b}{2}$ oder, wie fich bald ergeben wird, gröfser als $\frac{b}{2}$ bleibt, ift auf eine Verankerung der Widerlagsmauern Bedacht zu nehmen.

Je weniger fich das berechnete Mafs u von dem Mafs $\frac{b}{2}$ unterfcheidet, defto geringer find die Entfernungen der Ankerzüge von einander für das Gewölbe zu wählen, wenn diefelben einen entfprechenden Nutzen für das Verfpannen der Widerlagsmauern gewähren follen.

Der Winkel α endlich mufs, um die Gefahr gegen das Gleiten auf der Grundfläche des Widerlagers zu berückfichtigen, mindeftens gleich oder, der Sicherheit gegen Gleitens halber, kleiner fein, als der Reibungswinkel ρ des für das Widerlager benutzten Mauermaterials.

Aus der Zeichnung ergiebt fich

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{H}{G + W} = \frac{u}{y}$$

oder, unter Berückfichtigung der befonderen, vorhin angeführten Einheitsgewichte und da $W = bk$, auch

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{H}{G + bk\frac{\gamma_1}{\gamma}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 183.$$

Soll $\sphericalangle\alpha < \sphericalangle\rho$, d. h. $\sphericalangle\rho > \sphericalangle\alpha$ fein, fo ift auch $\operatorname{tg}\rho > \operatorname{tg}\alpha$, d. h.

$$\operatorname{tg}\rho > \frac{H}{G + bk\frac{\gamma_1}{\gamma}},$$

mithin $\operatorname{tg}\rho \, . \, G + \operatorname{tg}\rho \, \frac{k\gamma_1}{\gamma} \, b > H$; folglich mufs auch

$$b > \frac{H - \operatorname{tg}\rho \, . \, G}{\operatorname{tg}\rho \, . \, k\frac{\gamma_1}{\gamma}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 184.$$

fein. Fände diefe Beziehung bei einem gegebenen Werthe von b nicht ftatt, fo

würde die Gefahr des Gleitens des Widerlagskörpers eintreten, felbft wenn das berechnete Mafs von u kleiner als $\frac{b}{2}$ gefunden wäre.

Will man für eine andere wagrechte Schnittfuge unterhalb der Kämpferlinie des Gewölbes in der Widerlagsmauer die Stabilität gegen Drehen und gegen Gleiten prüfen, fo hat man nur die wagrechte Ebene entfprechend höher zu verlegen und diefer Lagenveränderung gemäfs die in den Gleichungen 182 u. 184 vorkommenden Werthe a und k danach zu verkleinern. Rückte z. B. die Ebene EE um η Met. höher, fo ginge a in $a_1 = a - \eta$ und k in $k_1 = k - \eta$ über.

Derartige Unterfuchungen find bei Widerlagsmauern nicht zu unterlaffen, fobald Durchbrechungen derfelben, wie bei Thür- und Lichtöffnungen vorkommen.

Noch möge bemerkt werden, dafs unter Einführung verfchiedener Werthe für η die zugehörigen berechneten Gröfsen von u auch Punkte in den wagrechten Lagerfugen der Widerlagsmauer liefern, welche der Mittellinie des Druckes in diefem Stützkörper zukommen.

Die Gleichung 182 ift aber weiter zu benutzen, wenn für eine Anlage von Kappengewölben eine Breite b der im Höhenfchnitt rechteckigen Widerlagsmauer gefunden werden foll, welche einen beftimmten Grad von Stabilität gegen Drehen befitzt. Setzt man in derfelben allgemein $u = nb$, unter n irgend einen echten Bruch verftanden, fo erhält man den Ausdruck

$$2nk \frac{\gamma_1}{\gamma} b^2 + (2n + 1) G b = 2 a H.$$

Die Auflöfung diefer Gleichung für b liefert

$$b = \frac{1}{4nk \frac{\gamma_1}{\gamma}} \left[-(2n + 1) G \mp \sqrt{16 nk \frac{\gamma_1}{\gamma} aH + (2n + 1)^2 G^2} \right] \quad . \quad 185.$$

In derfelben ift das pofitive Vorzeichen der Wurzelgröfse zu verwenden.

Für $n = \frac{1}{2}$, alfo für $u = \frac{b}{2}$ wird

$$b = \frac{1}{k \frac{\gamma_1}{\gamma}} \left(- G + \sqrt{2k \frac{\gamma_1}{\gamma} a H + G^2} \right).$$

Bei diefer Breite b geht die Mittelkraft R durch den Punkt o der Grundfläche der Widerlagsmauer. Das Syftem befindet fich im Grenzzuftande des Gleichgewichtes gegen Drehen.

Für $n = \frac{1}{6}$ wird $u = \frac{b}{6}$ und

$$b = \frac{1}{k \frac{\gamma_1}{\gamma}} \left(-2G + \sqrt{6k \frac{\gamma_1}{\gamma} \alpha H + 4 G^2} \right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 186.$$

Bei diefer Abmeffung von b trifft die Mittelkraft die Axe op des rechteckigen Querfchnittes der Fufsfläche des Widerlagers den Grenzpunkt r des inneren Drittels, d. h. den Grenzpunkt des fog. Kernes des Querfchnittes, fo dafs nun bekanntlich die vorhandene Breite den ftatifchen Anforderungen entfpricht, vorausgefetzt, dafs Gleichung 184 für das Gleichgewicht gegen Gleiten keine gröfsere Breite vorfchreibt.

Ergiebt ſich die Breite b für $n = \frac{1}{6}$ auch hiernach als ausreichend, ſo iſt bei ſonſt guter Ausführung, bei widerſtandsfähigem Material und bei günſtigem Verlauf der Mittellinie des Druckes in der Gewölbfläche und im Höhenſchnitte des Widerlagers, das Anbringen von Zugankern überflüſſig.

178. Berechnung der Verankerungen.

Die Verankerung ſoll aber angebracht werden, wenn der Schnittpunkt von R mit der Axe op zwiſchen o und r fällt. Schneidet die Mittelkraft R die verlängerte Axe op auſserhalb der Mauerkante, ſo ſoll eine Verſtärkung der Widerlagsmauer an ſich vorgenommen werden, bis jener Angriffspunkt von R mindeſtens nahe bei o in die Grundfläche tritt, da für den ſicheren Beſtand der Mauer einer Verankerung derſelben allein eine zu groſse Wirkung nicht zugemuthet werden kann, wenn dabei nicht noch beſondere Vorkehrungen getroffen werden.

Die Zuganker können nur in gewiſſen Entfernungen, nicht dicht neben einander liegend, angebracht werden. Das Geſetz für die Vertheilung des Gewölbſchubes an dem zwiſchen den Angriffsſtellen der Verankerung liegenden Mauerkörper iſt nicht vollſtändig bekannt, ſo daſs eine ſcharfe Beſtimmung der Beanſpruchung, welche jener Mauerkörper durch den Gewölbſchub und durch die in beſtimmten Abſtänden eingeführte Verankerung erleidet, augenblicklich noch nicht möglich iſt. Würde der Gewölbſchub aber z. B. durch widerſtandsfähige eiſerne Träger für gegebene Gewölblängen auf beſtimmte, einander gegenüber liegende feſte Stützpunkte der beiden Widerlagsmauern übertragen und alsdann eine Verankerung dieſer Stützpunkte vorgenommen, ſo würde durch eine derartige Vorkehrung eine gänzliche oder theilweiſe Entlaſtung des zwiſchen den Stützpunkten liegenden Mauerkörpers vom Gewölbſchube herbeigeführt. Dieſer Theil des Widerlagers würde dann mehr oder weniger nur als einfache Begrenzungsmauer auftreten. Bei ſehr ſchwachen Widerlagsmauern der Kappengewölbe iſt das Anbringen eiſerner Träger rathſam. In der Praxis ſind dieſelben mehrfach in Anwendung gekommen. Bei ſolchen Anlagen iſt auch die Berechnung der Träger und der zugehörigen Ankerverbindung ohne erhebliche Schwierigkeiten durchzuführen.

Werden dieſe Vorkehrungen nicht getroffen, ſo iſt für die Berechnung der Zuganker immer nur ein Näherungsverfahren einzuſchlagen, welches in ſeinen Ergebniſſen für die praktiſche Ausführung zweckmäſsige Werthe liefert.

Der Querſchnitt der Zug- oder Ankerſtangen iſt in den weitaus meiſten Fällen eine Kreisfläche. Nur wenn beſondere Verhältniſſe eine Verbindung ſolcher Anker mit anderen Bautheilen erfordern oder wenn beſtimmte gröſsere Längen dieſer Anker durch volles Mauerwerk geführt werden müſſen, erhalten dieſelben für dieſe Längen wohl einen flachen rechteckigen Querſchnitt, welcher an den Enden wieder in den kreisförmigen übergeht.

Da die Hauptaufgabe dieſer Anker darin beſteht, die nachtheiligen Wirkungen des Gewölbſchubes auf die Widerlager möglichſt zu vermindern und zu dieſem Zwecke eine möglichſt kräftige gegenſeitige Verſpannung derſelben hervorzurufen, ſo iſt auf eine entſprechend ſtarke Verbindung der Zuganker mit dem Mauerwerkskörper ſelbſt Bedacht zu nehmen. Dieſe Verbindung erfolgt durch ſog. Ankerſplinte oder weit beſſer durch Ankerplatten. Die Ankerſplinte beſtehen aus Flacheiſen, welche durch Oeſen greifen, die an den Enden der Zugſtangen ausgeſchmiedet ſind. Die Ankerplatten ſind guſseiſerne Platten mit quadratiſcher oder kreisförmiger Grundfläche. Der Querſchnitt derſelben iſt rechteckig oder beſſer trapezförmig, ab

und zu auch gerippt. Sind die Ankerplatten, wie in der Regel der Fall, aufsen vor der Widerlagsmauer in freier Lage anzubringen, fo ift die gerippte Ankerplatte weniger empfehlenswerth, weil die vorfpringenden Rippen das Anfammeln von Feuchtigkeit oder das Auflagern von Schnee zulaffen, wodurch nach und nach die Platten gefchädigt werden. Am beften wird für die hier vorliegenden Zwecke der trapezförmige Querfchnitt gewählt. Die Enden der Ankerftangen werden durch eine in der Mitte der Platte angebrachte Oeffnung geführt und durch eine geeignete Keil- oder Schraubenverbindung mit den Platten verknüpft.

Eine weitere wefentliche Forderung für das Herbeiführen einer tüchtigen Verankerung der Widerlager geht dahin, dafs fowohl die Ankerfplinte wie auch die Ankerplatten eine thunlichft grofse Mauerfläche, bezw. möglichft viele Steinfchichten der Widerlagsmauer faffen, um hierdurch die Uebermittelung des Gewölbfchubes auf eine gröfsere Fläche und die Verfpannung eines gröfseren Mauerkörpers zu bewirken. Diefer Forderung wird, wie an fich klar, weit beffer durch Ankerplatten, als durch die hochkantig aufliegenden Ankerfplinte genügt, da erfteren felbft bei nicht fehr grofsen Seitenabmeffungen eine weit gröfsere Lagerfläche gegeben werden kann, als den letzteren, welchen etwa nur 40 bis 60 cm Länge zugewiefen werden.

Sollen Ankerfplinte zur Verwendung kommen, fo giebt man denfelben bei ftarker Beanfpruchung der Zugftangen zweckmäfsig eine von den Oefen diefer Stangen ausgehende äfteartige Ausbreitung in Form von Buchftaben, Zahlen oder fonft entfprechend gebildeten Ornamenten, wie in Theil III, Band 1 (Abth. I, Abfchn. 3, Kap. 5) diefes »Handbuches« näher angegeben ift.

Werden die Zuganker an den Enden mit Schraubengewinden verfehen, fo find unter Berückfichtigung des Umftandes, dafs beim kräftigen Anziehen der Schraubenmutter leicht eine Beanfpruchung der Enden der Ankerftange auf Torfion entftehen kann, für die Berechnung der Zugftangen die an der eben bezeichneten Stelle diefes »Handbuches« entwickelten Gleichungen 116 u. 117 (S. 152[169]) zu benutzen. Bezeichnet d' den inneren, d den äufseren Gewindedurchmeffer und d'' den äufseren Durchmeffer der Zugftange, fo ift

$$d'' = (1{,}173\, d' + 0{,}128) \text{ Centim.}; \quad \ldots \quad 187.$$

$$d = (1{,}139\, d' + 0{,}103) \text{ Centim.}, \quad \ldots \quad 188.$$

und hierin

$$d' = 0{,}2 + 0{,}046 \sqrt{P} \quad \ldots \quad 189.$$

zu nehmen.

In Gleichung 189 bezeichnet P die Zugkraft (in Kilogr.), welche die Ankerftange aufzunehmen hat.

Die Beanfpruchung der Ankerftange durch Biegung, hervorgerufen von ihrem Eigengewicht, ift hier als gering im Vergleich zur Beanfpruchung durch P ohne weiteres vernachläffigt.

Befitzen die Enden der runden Zuganker Oefen, welche die Ankerfplinte aufzunehmen haben, fo find die Oefen in ihren Abmeffungen, wie in Art. 231 (S. 159[170]) des gedachten Bandes diefes »Handbuches« angegeben ift, zu berechnen.

---

169) 2. Aufl.: Gleichungen 139 u. 140 (S. 161).

170) 2. Aufl.: Art. 234 (S. 171).

Unter Verwerthung der hierfür entwickelten Gleichungen 135 [171]) ist

$$\delta = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{P\pi}{s''} \cdot \frac{1}{1+\frac{s''}{s'}}} \text{ Centim.}; \quad \ldots \ldots \quad 190.$$

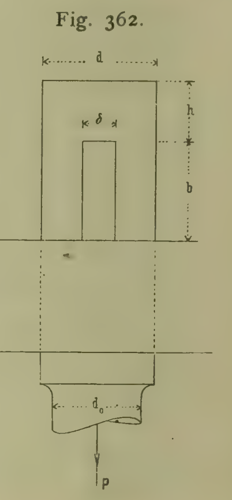
$$d = 2\sqrt{\frac{P}{\pi s''}\left(1+\frac{s''}{s'}\right)} \text{ Centim.}; \quad \ldots \ldots \quad 191.$$

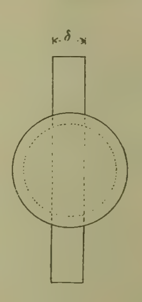
$$b = \sqrt{\frac{P}{\pi t} \cdot \frac{s''}{t}\left(1+\frac{s''}{s'}\right)} \text{ Centim.}; \quad \ldots \ldots \quad 192.$$

$$h = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{P\pi}{t} \cdot \frac{s''}{t} \cdot \frac{1}{1+\frac{s''}{s'}}} \text{ Centim.} \quad \ldots \ldots \quad 193.$$

Hierin bezeichnet P wiederum die Zugkraft (in Kilogr.), welche die Ankerstange aufzunehmen hat; s' die zuläſſige Zugſpannung in derſelben, welche zu 800 kg für 1 qcm zu nehmen iſt; s'' der ſog. Lochlaibungsdruck hinter dem Keile, bezw. dem Ankerſplinte gleich 1200 kg für 1 qcm, und t die zuläſſige Scherſpannung in der Oeſe, bezw. im Keile oder im Ankerſplinte, etwa gleich 640 kg für 1 qcm, während δ, d, b, h die aus Fig. 362 zu entnehmenden Bedeutungen für die Oeſe, bezw. für den Keil oder den Ankerſplint haben.

Fig. 362.





Die Länge des Keiles iſt gleich $2d$ (Gleichung 191) zu nehmen.

Die Oeſe wird durch Anſtauchen der Enden der Ankerſtange gebildet und dieſe demnach verſtärkt. Dieſe durch d (Gleichung 191) beſtimmte Verſtärkung iſt gröſser, als der Durchmeſſer d_0 der eigentlichen Stange. Letzterer iſt zu berechnen aus der Beziehung

$$\frac{\pi}{4} d_0^2 s' = P,$$

ſo daſs

$$d_0 = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{P}{s'}} = \infty\, 1{,}13 \sqrt{\frac{P}{s'}} \quad \ldots \quad 194.$$

wird. Ankerſtangen aus Flacheiſen von einer Dicke δ' ſind nach Gleichung 137 (S. 160 [172]) im angeführten Bande dieſes »Handbuches« zu berechnen.

Die Abmeſſungen der Oeſe, bezw. des Keiles oder des Ankerſplintes, ſind mit Berückſichtigung der Bezeichnungen in Fig. 363

$$\delta = \frac{P}{s''\delta'}; \quad b' = \frac{P}{\delta'} \cdot \frac{s'+s''}{s's''} \text{ Centim.}; \quad \ldots \ldots \quad 195.$$

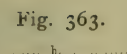
$$b = \frac{\delta'}{2}\,\frac{s''}{t}; \quad h = \frac{P}{t\delta'} \text{ Centim.}; \quad \ldots \ldots \quad 196.$$

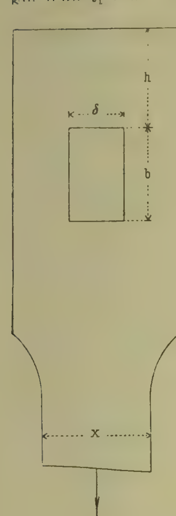
---

171) 2. Aufl.: Gleichungen 161.

172) 2. Aufl.: Gleichung 163 (S. 172).

Fig. 363.





während

$$x = \frac{P}{\delta' s'} \text{ Centim.} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 197.$$

zu nehmen iſt.

Fallen die berechneten Abmeſſungen für b, d. i. für die lichte Höhe der Oeffnung der Oeſe oder für die Höhe des Keiles, wie häufig ſich zeigt, unter ein praktiſch zuläſſiges Maſs, ſo hat man den Unterſchied zwiſchen dem theoretiſchen Maſse und dem wirklich für b zu wählenden praktiſchen Maſse dem Werthe h hinzuzufügen, während alle übrigen berechneten Abmeſſungen unverändert beibehalten werden.

Für die Ankerplatten mit rechteckigem Querſchnitte und quadratiſcher oder kreisrunder Grundfläche können die für Grundplatten im bezeichneten Bande dieſes »Handbuches« (Art. 276, S. 182 [173]) angeführten Gleichungen 142 [174]) der Berechnung zu Grunde gelegt werden.

Hiernach wird, wenn F die Grundfläche dieſer Platten (in Quadr.-Centim.) und P wie früher der Ankerzug (in Kilogr.) iſt

für gewöhnliches Backſteinmauerwerk . $F = \frac{P}{7}$ Quadr.-Centim.

„ Klinkermauerwerk in Cement-Mörtel $F = \frac{P}{12}$ „ „

„ Mauerwerk aus weniger feſten Quadern $F = \frac{P}{20}$ „ „ . 198.

„ Mauerwerk aus ſehr feſten Quadern . $F = \frac{P}{45}$ „ „

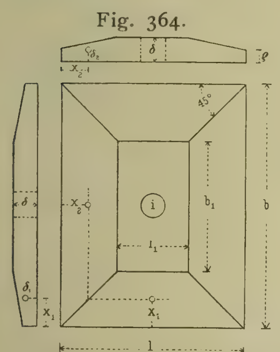
Die Dicke δ in Centim. der Ankerplatten iſt

$\delta = 0{,}055 \sqrt{P}$ für quadratiſche Platten

$\delta = 0{,}05 \sqrt{P}$ für kreisrunde Platten . . . . . . 199.

Für trapezförmige Ankerplatten wird unter Bezugnahme auf Fig. 364 die im angeführten Bande (2. Aufl.) dieſes »Handbuches« auf S. 223 gegebene Gleichung 194 füglich benutzt werden können. Hiernach wird

Fig. 364.



$$\delta_1 = 0{,}1\, x_1 \sqrt{\frac{\sigma_1}{3} \cdot \frac{3l - 2x_1}{l - 2x_1}} \text{ Centim.}$$

$$\delta_2 = 0{,}1\, x_2 \sqrt{\frac{\sigma_1}{3} \cdot \frac{3b - 2x_2}{b - 2x_2}} \text{ Centim.} \quad . \quad . \quad 200.$$

Die erforderliche Grundfläche F iſt nach Abzug der Fläche i für die Oeffnung in der Mitte, durch welche der Zuganker geführt wird, bei einem rechteckigen Auflager, wobei l oder b gewählt werden kann,

$$lb - i = F = \frac{P}{\sigma_1}, \text{ d. h. } lb = \frac{P}{\sigma_1} + i$$

und bei quadratiſchem Auflager in der Seitenlänge

$$b = \sqrt{\frac{P}{\sigma_1} + i} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 201.$$

[173]) 2. Aufl.: Art. 282, S. 197.

[174]) 2. Aufl.: Gleichungen 174.

Bei diefen Platten ift $l = b$, fo dafs eine der Gleichungen 200 zur Berechnung von δ_1, bezw. $\delta_{,,}$ zu benutzen ift.

Die Randftärke ρ beträgt paffend 2 cm. Die Gröfse σ_1 bezeichnet die zuläffige Preffung auf das Mauerwerk, gegen welches fich die Platte legt (in Kilogr. für 1 qcm); der Werth hierfür geht aus Gleichung 198 hervor.

Für gerippte Platten, welche aus dem früher angegebenen Grunde hier weniger in Betracht kommen, mufs auf den Gang der Berechnung verwiefen werden, welcher im mehrfach erwähnten Bande diefes »Handbuches« in Art. 294 (S. 199[175]) u. ff. betreten ift.

179.
Zugkraft und Zahl der Ankerftangen.

In den für die Verankerung auszuführenden Berechnungen fpielt die Gröfse P der Zugkraft eine Rolle. Diefelbe hängt vom Gewölbfchube und von der Vertheilung deffelben auf das Gewölbwiderlager ab. Sieht man von peinlich angeftellten Unterfuchungen ab, deren Ergebniffe doch nur auf mehr oder weniger berechtigten Vorausfetzungen beruhen, fo kann man unter der Annahme eines für jede Längeneinheit der Widerlagsmauern gleichförmig und ftetig vertheilten Gewölbfchubes die Gröfse von P leicht feft fetzen, welche für die Zuganker entfteht und für die Stabilität der Widerlagsmauern verwerthet werden foll.

Ift L Met. die ganze Länge des Kappengewölbes zwifchen den Stirnmauern, H der Gewölbefchub für 1 m Länge nach Gleichung 179 (S. 264) und γ das Einheitsgewicht des Wölbmaterials in Kilogr. für 1 cbm, fo wird der gefammte Gewölbefchub

$$P = L\, H\, \gamma \text{ Kilogr.} \qquad \dots \dots \qquad 202.$$

Ift m die Zahl der in beftimmten Abftänden zwifchen den Stirnmauern einander parallel einzulegenden runden Zuganker, deren Durchmeffer je d_0 Centim. beträgt, fo ift, wenn s' wie früher die zuläffige Zugfpannung (in Kilogr. für 1 qcm) bezeichnet,

$$m \frac{\pi}{4} d_0^2 s' = L H \gamma, \text{ d. h.}$$

$$m = \frac{4 L H \gamma}{\pi d_0^2 s'} \qquad \dots \dots \qquad 203.$$

Ift d_0 von vornherein in einem praktifchen Mafse für die Zuganker feft gefetzt, fo ergiebt fich nach Gleichung 203 die erforderliche Anzahl derfelben. In der Regel ift d_0 zu $2\frac{1}{2}$, 3 bis höchftens zu 5 cm bei gewöhnlichen Kappengewölben zu nehmen.

Meiftens ift aber die Zahl m vorweg durch die Plangeftaltung der Gewölbanlage beftimmt. Liegen diefelben in gleichen Abftänden von einander, fo entftehen bei m Zugftangen $m + 1$ Abtheilungen der Länge L, und demnach kommt für jede Zugftange eine Kraft $\frac{L H \gamma}{m+1}$ in Rechnung. Hiernach wird entfprechend Gleichung 203

$$\frac{\pi}{4} d_0^2 s' = \frac{L H \gamma}{m+1} \text{ oder}$$

$$d_0 = \sqrt{\frac{4}{\pi} \, \frac{L H \gamma}{(m+1) s'}} = \backsim 1{,}13 \sqrt{\frac{L H \gamma}{(m+1) s'}} \text{ Centim.} \qquad \dots \qquad 204.$$

Liegen dagegen die Zuganker in Abftänden von ungleicher Weite, fo ift, wenn l Met. die gröfste überhaupt vorkommende Entfernung zwifchen zwei Ankerftangen bezeichnet,

$$d_0 = \backsim 1{,}13 \sqrt{\frac{l H \gamma}{s'}} \text{ Centim.} \qquad \dots \dots \qquad 205.$$

175) 2. Aufl.: Art. 299 (S. 224).

zu nehmen. Hierbei ift zu bemerken, dafs derartige ungleich weite Abftände für die Zuganker dem ganzen Syftem weniger zuträglich find und daher thunlichft vermieden werden müffen. Sehr grofse Abweichungen zwifchen den einzelnen Weiten dürfen überhaupt nicht zugelaffen werden. Bei geringfügigen Unterfchieden in diefen Abftänden ift dann für alle Ankerftangen der nach Gleichung 205 für l Met. berechnete Durchmeffer d_0 beizubehalten. Von Wichtigkeit ift bei der Verankerung der Kappengewölbe auch das Anbringen von Zugankern an jeder Stirnmauer, um hierdurch dem erfahrungsmäfsig leicht eintretenden Ausweichen, bezw. Abreifsen der Widerlagsmauern an den Ecken des Raumes möglichft vorzubeugen. Die Entfernungen der Zuganker von einander follen höchftens 4 m, unter Umftänden weit weniger betragen weil bei zu grofsen Abftänden der Verankerungen die nicht ausreichend ftarken Widerlagsmauern zwifchen den Ankerzügen fich leicht ausbauchen und Mauerriffe erhalten.

180. Beifpiel.

Beifpiel. Ein aus Backftein vom Einheitsgewichte 1,6 ausgeführtes Kappengewölbe mit einem Kreisbogen als Leitlinie ift 14,5 m lang; die Spannweite $2s$ deffelben beträgt 3 m, alfo $s = 1{,}5$ m, und die Pfeilhöhe $f = 0{,}4$ m, alfo etwas über $\frac{1}{8}$ der Spannweite. Das Gewölbe ftützt fich gegen Widerlagsmauern, welche ordnungsmäfsig aus feftem Kalkftein vom Einheitsgewichte 2,6 ausgeführt find; die Stärke b derfelben beträgt 0,60 m und die Höhe $k = 8{,}2$ m; die Kämpferhöhe a des Gewölbes beträgt 3 m. Das Gewölbe ift 1 Stein = 0,25 m ftark, in den Zwickeln mit Backftein ausgemauert und mit einem Bretterfufsboden überlagert. Die Nutzlaft des Gewölbes ift zu 400 kg für 1 qm Grundfläche beftimmt. Diefer nicht ganz geringfügigen Nutzlaft entfprechend, wird die als wagrecht abgeglichene Belaftungsfläche, auf Backftein-Material zurückgeführt, zu einer Höhe $h = \frac{400}{1600} = 0{,}25$ m im Scheitellothe des Gewölbes gefunden. Vom Zurückführen des Gewichtes des mit Sand unterlagerten Bretterfufsbodens ift hier abgefehen.

1) Prüfung der Gewölbftärke. Man erhält nach Gleichung 179

$$H = \frac{1{,}5^2}{12\,(0{,}25 + 0{,}4)}\left[6\,(0{,}25 + 0{,}25) + 0{,}4\right] = 0{,}97 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

Nach der Tabelle auf S. 202 überfchreitet diefer Werth die für H berechnete Gröfse bei 1 Stein ftarken Gewölben um 0,1 qm, bleibt aber von H für $1^1/_2$ Stein Stärke um 1,06 qm entfernt. Wird nun das Gewölbe auch etwas ftärker gepreffst, als Gleichung 145 angiebt, fo kann diefe etwas gröfsere Preffung bei kleineren Gewölben doch zugelaffen und die Gewölbftärke d zu 1 Stein als genügend angefehen werden.

Nach Gleichung 180 wird

$$G = 1{,}5\left(0{,}25 + 0{,}25 + \frac{0{,}4}{3}\right) = 0{,}95 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

Bei den gegebenen Abmeffungen wird, um den Normaldruck N in der Kämpferfuge beftimmen zu können, zuvor $\sin\alpha = \frac{s}{r}$ und, da $\frac{f}{s} = \frac{s}{2r - f}$, alfo $r = \frac{f^2 + s^2}{2f}$ ift,

$$\sin\alpha = \frac{2fs}{f^2 + s^2} = \frac{1{,}20}{2{,}41} = 0{,}4979 = \infty\, 0{,}5\,,$$

mithin nahezu und hier genau genug $\alpha = 30$ Grad. Hiernach ift zufolge Gleichung 152

$$N = 0{,}97 \cos 30^0 + 0{,}95 \sin 30^0 = 0{,}97 \cdot 0{,}866 + 0{,}95 \cdot 0{,}5 = 1{,}325 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

Diefer Werth bleibt nach der Tabelle auf S. 202 weit unter der für den Normaldruck N bei einem 1 Stein ftarken Gewölbe berechneten Gröfse. Mithin ift auch in diefer Beziehung die ausgeführte Gewölbftärke hinreichend.

2) Prüfung der Widerlagsftärke. Das Gewicht des Wölbmaterials fammt Belaftung ift $\gamma = 1600$ kg für 1 cbm, während das Eigengewicht des Mauerwerkes vom Widerlager $\gamma_1 = 2600$ kg für 1 cbm beträgt. Unter Benutzung von Gleichung 182 wird

$$u = \frac{2 \cdot 3 \cdot 0{,}97 - 0{,}6 \cdot 0{,}95}{2\left(0{,}95 + 0{,}6 \cdot 8{,}2 \cdot \frac{2600}{1600}\right)} = \frac{5{,}25}{17{,}89} = 0{,}293 \text{ m},$$

alfo ganz wenig kleiner als $\frac{b}{2} = \frac{0{,}60}{2} = 0{,}30$ m.

Diefes Ergebnifs bedingt eine kräftige Verankerung der Widerlagsmauern.

Für den Gleichgewichtszuftand gegen Gleiten mufs bei der Annahme des Reibungswinkels ρ für Kalkfteinmauerwerk als $\operatorname{tg} \rho = 0{,}7$ nach Gleichung 184

$$0{,}60 > \frac{0{,}97 - 0{,}7 \cdot 0{,}95}{0{,}7 \cdot 8{,}2 \cdot \frac{2600}{1600}},$$

d. h. $0{,}60 > 0{,}326$ fein.

Solches ift hier der Fall, mithin ift Sicherheit gegen Gleiten der Widerlagsmauer auf ihrer Grundfläche bekundet.

Für eine in der wagrechten Kämpferebene liegende Fuge der Widerlagsmauer geht die Gröfse k der Gleichung 184 in $k_1 = k - \eta = 8{,}2 - 3 = 5{,}2^{\text{m}}$ über, und nun mufs

$$0{,}60 > \frac{0{,}97 - 0{,}7 \cdot 0{,}95}{0{,}7 \cdot 5{,}2 \cdot \frac{2600}{1600}},$$

d. i. $0{,}60 > 0{,}515$ fein. Auch für diefe Fuge ift demnach keine Gefahr in Bezug auf Gleiten vorhanden.

3) Berechnung der Verankerung. Wird die Zahl m der in gleichen Entfernungen von einander zwifchen den Stirnmauern angebrachten Zugankern zu 4 genommen, fo ift die Entfernung derfelben $l = \frac{14{,}2}{4+1} = 2{,}9^{\text{m}}$ und fomit die Zugkraft P für diefelbe gleich dem refultirenden Gewölbfchube für diefe Länge l, d. h. $P = 2{,}9 \cdot 0{,}97 \cdot 1600 = 4500{,}8^{\text{kg}}$, wofür 4500^{kg} gefetzt werden follen.

Für diefe Beanfpruchung würde nach Gleichung 194, worin s' unter Berückfichtigung der Torfion, welche die Ankerftange erleiden kann, gleich 600^{kg} für 1^{qcm} gefetzt werden foll, der Durchmeffer der Stange

$$d_0 = \backsim 1{,}13 \sqrt{\frac{4500}{600}} = 3{,}09^{\text{cm}}.$$

Die Zuganker erhalten aber an ihren Enden Schraubengewinde, deren äufserer Ring von etwa 1^{mm} Tiefe nicht als tragfähig gelten kann. Aus diefem Grunde ift zunächft nach Gleichung 189, worin auch $s' = 600^{\text{kg}}$ berückfichtigt ift, der innere Durchmeffer zu beftimmen als

$$d' = 0{,}2 + 0{,}046 \sqrt{4500} = 0{,}2 + 3{,}086 = 3{,}286^{\text{cm}},$$

wofür $3{,}3^{\text{cm}}$ genommen werden follen.

Alsdann wird nach Gleichung 188 der äufsere Gewindedurchmeffer $d = (1{,}139 \cdot 3{,}3 + 0{,}103) = 3{,}86^{\text{cm}}$ und endlich nach Gleichung 187 der Durchmeffer der Zugftange felbft

$$d'' = 1{,}173 \cdot 3{,}3 + 0{,}128 = 3{,}99^{\text{cm}},$$

wofür felbftredend 4^{cm} zu nehmen find. Diefer Durchmeffer ift den Zwifchenankern ftatt des Mafses $d_0 = \backsim 3^{\text{cm}}$ zu geben.

Die Ankerftangen an jeder Stirnmauer können, da der für ihre Spannung mafsgebende refultirende Gewölbfchub zu $\frac{l}{2} H \gamma = \frac{2{,}9}{2} \cdot 0{,}97 \cdot 1600 = 2250^{\text{kg}}$ angenommen werden darf, einen geringeren Durchmeffer als die Zwifchenanker erhalten. Für den inneren Gewindedurchmeffer würde nach Gleichung 189

$$d' = 0{,}2 + 0{,}046 \sqrt{2250} = 2{,}38^{\text{cm}}$$

und hiernach der Durchmeffer der Stange nach Gleichung 187

$$d'' = 1{,}173 \cdot 2{,}38 + 0{,}128 = 2{,}91^{\text{cm}},$$

wofür $d'' = 3^{\text{cm}}$ zu nehmen ift.

Vielfach giebt man aber in der Praxis diefen Stirnankern denfelben Durchmeffer, wie den Zwifchenankern.

Giebt man den runden Zugankern an ihren Enden Oefen, welche Keile, bezw. Splinte aufnehmen, die dann zweckmäfsig auf Ankerplatten lagern, fo find zur Berechnung derfelben die Gleichungen 190 bis 193 und die Gleichung 197 anzuwenden. Man erhält alsdann nach Gleichung 194 den Stangendurchmeffer, da s' beim Nichteintreten einer Torfion bei derartigen Ankern gleich 800^{kg} für 1^{qcm} gefetzt werden kann,

$$d_0 = 1{,}13 \sqrt{\frac{5400}{800}} = 2{,}94 = \backsim 3^{\text{cm}}$$

und nun der Reihe nach entfprechend den Gleichungen 190 bis 193

$$\delta = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{4500 \cdot 3{,}1416}{1200} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1200}{800}}} = \infty\ 1{,}1\ ^{cm},$$

$$d = 2\sqrt{\frac{4500}{3{,}1416 \cdot 1200}\left(1 + \frac{1200}{800}\right)} = \infty\ 3{,}8\ ^{cm},$$

$$b = \sqrt{\frac{4500}{3{,}1416 \cdot 640} \cdot \frac{1200}{640}\left(1 + \frac{1200}{800}\right)} = \infty\ 3{,}3\ ^{cm},$$

$$h = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{4500 \cdot 3{,}1416}{640} \cdot \frac{1200}{640} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1200}{800}}} = \infty\ 2\ ^{cm}.$$

Ein Vergleich der Ergebniffe der Rechnung fällt hinfichtlich der Zugftangen zu Gunften der zuletzt betrachteten Anordnungen von Oefen mit Keilen aus, da die Anwendung von Ankerftangen mit Schraubengewinden an den Enden einen gröfseren Aufwand an Material für die Verankerung bedingt.

4) Berechnung der Ankerplatten. Sollen quadratifche gufseiferne Ankerplatten mit einfachem rechteckigen Querfchnitte Verwendung finden, fo ift bei der Beanfpruchung $P = 4500$ kg die Dicke derfelben nach Gleichung

$$\delta = 0{,}055 \sqrt{4500} = 3{,}69\ ^{cm},$$

wofür rund 3,7 cm genommen werden.

Bei runden Zugankern mit Schraubengewinden an den Enden ift die Oeffnung in der Ankerplatte um etwa 2 mm gröfser als der Durchmeffer der Zugftange zu nehmen, fo dafs diefelbe nach der angeftellten Rechnung 4,2 cm betragen würde. Die Grundfläche diefer Oeffnung ift demnach $i = \frac{\pi}{4}\, 4{,}2^2 = \infty\ 13{,}85$ qcm.

Hiernach wird unter Benutzung von Gleichung 201

$$b = \sqrt{\frac{4500}{\sigma'} + 13{,}85}\ \text{Centim.}$$

Nimmt man für Mauerwerk aus feftem Kalkftein in Kalkmörtel die zuläffige Beanfpruchung σ' für 1 qcm zu 10 kg an, fo ift $b = \sqrt{450 + 13{,}85} = \sqrt{463{,}85} = 21{,}54$ cm oder abgerundet $= 22$ cm.

Da aber die Ankerplatten eine möglichft grofse Fläche der Widerlagsmauer überlagern follen, fo ift es rathfam, die Seitenlänge b diefer Platten zu 30 cm anzunehmen. Alsdann ift die Grundfläche derfelben, welche die von den Zugankern herbeigeführte Preffung auszuhalten hat, gleich $F = (30^2 - 13{,}85) = 886{,}15$ qcm und folglich $\sigma' = \frac{4500}{886{,}15} = \infty\ 5$ kg für 1 qcm, eine Beanfpruchung, welche felbft bei weniger feftem Kalkfteinmauerwerk zuläffig ift.

Werden die vorhin berechneten Zugftangen mit Oefen und Keilen zur Ausführung gebracht, fo würden zweckmäfsig diefelben Ankerplatten für die Unterlagerung der Keile, bezw. für die Verankerung benutzt.

Würden ftatt der Ankerplatten Ankerfplinte für die Verankerung genommen, welche zur Erzielung einer möglichft grofsen Auflagerfläche oberhalb der Oefe oder oberhalb und unterhalb derfelben entfprechend geäftet angeordnet werden könnten, fo müffte, wenn aus practifchen Gründen, die Breite der Auflagerfläche derfelben ftatt der für den Keil berechneten Breite $\delta = 1{,}1$ cm zu 2 cm gewählt würde, bei der Beanfpruchung $\sigma' = 10$ kg für 1 qcm Mauerfläche die gefammte Länge l der Aefte eines Ankerfplintes gleich $\frac{4500}{10 \cdot 2} = 225$ cm fein, d. h. bei 4 auch in gefchwungenen Linien geführten Aeften würde jeder derfelben oberhalb und unterhalb derfelben rund 57 cm in der Erftreckung meffen. Bei Verminderung diefer erftreckten Länge würde felbftverftändlich die Beanfpruchung σ' des Mauerwerkes wachfen.

Nach den gemachten Angaben hätte alfo die Durchbildung der Ankerfplinte zu erfolgen.

181.
Strebepfeiler.

Zuweilen werden zur Verftärkung der Widerlager für Kappengewölbe und auch wohl für ihr Urfprungsgewölbe, das Tonnengewölbe, Strebepfeiler in gewiffen Entfernungen von der Widerlagsmauer in Vorfchlag gebracht. Sind, wie bei den Kreuzgewölben fich zeigen wird, Strebepfeiler, bezw. Strebebogen bei folchen Anlagen vortheilhaft am Platze, fo ift diefes bei Kappengewölben oder Tonnengewölben weit weniger der Fall. Bei diefen Gewölben ift, wie bereits bei der Verankerung der-

felben gefagt ift, keine Vereinigung des Gewölbfchubes an einzelnen abgegrenzten Theilen der Widerlager vorhanden. Die Vorausfetzungen, welche hinfichtlich der Vertheilung des Gewölbfchubes auf eine Widerlagsmauer mit Strebepfeilern zu Grunde gelegt werden, laffen noch Zweifel zu. Obgleich diefer Vorwurf auch die Verankerung treffen mufs, fo ift doch durch folche Anlagen erfahrungsmäfsig eine entfprechende Erhöhung der Standficherheit der mit nicht ganz zureichender Stärke behafteten Widerlagsmauern in verhältnismäfsig einfacher Weife herbeizuführen. Die in der Höhe der Kämpferebene eingezogene Verankerung vermag eine beffere Verfpannung der Widerlagsmauern und eine gröfsere Gegenwirkung für den Gewölbfchub auszuüben, als die vorgelegten Strebepfeiler, welche etwa eine erhöhte Standfähigkeit der an fich nicht ganz genügend ftarken Widerlagsmauern der Kappengewölbe vermitteln follen.

Müffen aus befonderen Gründen ftatt der Zuganker Strebepfeiler angeordnet werden, fo ift, unter Beachtung des in Art. 178 (S. 268) für die Unterfuchung der zwifchen den Zugankern liegenden Mauertheile der Widerlager Gefagten, für die Strebepfeiler felbft eine Entfernung von über 4 m von Mitte zu Mitte thunlichft zu vermeiden. Die parallel zur Widerlagsmauer auftretende Breite der Strebepfeiler follte nicht unter 38, bezw. 40 cm betragen. Ihre rechtwinkelig zum Widerlager antretende Dicke ift durch ftatifche Unterfuchung zu beftimmen. Das bei diefer Unterfuchung zu benutzende Verfahren entfpricht im Wefen ganz dem in Art. 143 (S. 197) über die Ermittelung der Stabilität eines Tonnengewölbes und feines Widerlagers Mitgetheilten. Im Befonderen ift hier nur zu berückfichtigen, dafs unter Bezugnahme auf Fig. 365 der für den Körper des Strebepfeilers in Betracht kommende, im Punkte n angreifende refultirende Horizontalfchub $H_1 = l H$ Quadr.-, bezw. Cub.-Met. bei der graphifchen Unterfuchung oder als $H_1 = l H \gamma$ Kilogr. bei der rechnerifchen Ermittelung der Stabilität des Strebepfeilers einzuführen ift. Die Gröfsen H und γ haben die früher angegebene Bedeutung; l ift die Entfernung der Strebepfeiler von Mitte zu Mitte (in Met.).

Fig. 365.

Die Gewichtsbeftimmung vom Körper des einzelnen Strebepfeilers erfolgt felbftredend unter Berückfichtigung der meiftens von vornherein angenommenen Breite w deffelben, einer vorläufig zu wählenden Dicke x und des Eigengewichtes γ_1 des betreffenden Mauermaterials. Bei der graphifchen Methode ift diefes Mauermaterial auf das Wölbmaterial, wie früher befprochen, zu reduciren. Die für den Höhenfchnitt des Strebepfeilers darzuftellende Mittellinie des Druckes darf die Kernfläche des Querfchnittes deffelben nicht verlaffen; aufserdem mufs das Gleichgewicht gegen Gleiten in bekannter Weife bekundet fein.

Findet die Einwölbung der Kappengewölbe nicht auf »Kuf«, fondern auf »Stich« oder »Schwalbenfchwanz« ftatt, wovon unter c des Näheren mitgetheilt wird, fo

entftehen fchmale, neben einander liegende Wölbftreifen, Wölbfcharen oder Zonen, welche ihr Widerlager fowohl an den eigentlichen Widerlagsmauern, als auch an den Stirnmauern und endlich auch an den Seitenflächen einzelner Zonen felbft finden.

In jedem Falle treten bei diefer Art der Einwölbung die fämmtlichen das Gewölbe begrenzenden Raumtheile als Widerlager auf, fo dafs auch die Stirnmauern einem Gewölbfchube ausgefetzt find, welcher hier fogar für die einzelnen Wölbfcharen in verfchiedenen Höhen über der Kämpferebene des Gewölbes angreift und auch in Bezug auf einander verfchieden grofs ausfällt.

Ift die Leitlinie des Kappengewölbes, wie eigentlich ftets der Fall, ein flacher Kreisbogen, fo ift die Leitlinie jeder einzelnen Wölbfchar ein elliptifcher Bogen, deffen Kämpferpunkte in verfchieden hoch gelegenen wagrechten Ebenen auftreten. Im Allgemeinen find demnach, ftreng genommen, die einzelnen Wölbfcharen fchmale einhüftige oder anfteigende Gewölbe, deren Gewölbfchub nach den in Art. 146 (S. 209) gemachten Angaben ermittelt werden kann, wenn dabei nur die Annahme gemacht wird, dafs etwas abweichend von der Wirklichkeit die feitlichen Begrenzungsflächen diefer Wölbfcharen einander parallelen, lothrechten Ebenen angehören, während diefelben, ftreng genommen, in verfchieden zu einander geneigten Ebenen liegen, welche die Laibungsfläche des Gewölbes nach Ellipfenftücken durchfchneiden, deren Grundrifsprojectionen ebenfalls gekrümmt find. Die Abweichung von der Wirklichkeit noch weiter zu treiben und auch Abftand zu nehmen von der Eigenfchaft der Wölbfcharen, wonach diefelben als einhüftige kleine Gewölbe erfcheinen, um diefelben ohne Weiteres als fymmetrifch geformte und fymmetrifch belaftete Gewölbe anzufehen, könnte füglich unterlaffen werden, da die ftatifche Unterfuchung einhüftiger Gewölbe nebft deren Widerlager keine erheblich zu nennende Schwierigkeiten verurfacht, fo fern überhaupt nicht fehr hoch gefpannte theoretifche Entwickelungen angeftellt werden follen.

Eine in dem einfacheren Sinne geführte Unterfuchung eines auf »Schwalbenfchwanz« gewölbten Kappengewölbes ift unter Benutzung der Methode der graphifchen Statik unter Beachtung einhüftig geformter Wölbfcharen in Fig. 366 vorgenommen. Sie foll dazu dienen, namentlich auch einen Einblick in die Einwirkung des Gewölbfchubes auf die Stirnmauern des überwölbten Raumes zu gewinnen; fie foll aber auch durch ihren Gang die nöthigen, beachtenswerth erfcheinenden Anhaltspunkte gewähren, welche für die fpäter zu berückfichtigende Stabilitätsermittelung der flachen Kloftergewölbe, der Kreuzgewölbe u. f. f. weiter benutzt werden können, zumal der fog. Verband auf »Stich« oder »Schwalbenfchwanz« in der Praxis des Gewölbebaues eine fehr ausgedehnte Anwendung findet.

Es fei *abcd* (Fig. 366) ein rechteckiger Raum von 4 m Breite und 8 m Länge. Derfelbe wird mit einem Kappengewölbe überdeckt, deffen Leitlinie ein Kreisbogen ift, welcher als fog. Kreuzrifsbogen (Centriwinkel = 60 Grad) befchrieben wurde. Das Pfeilverhältnifs ift demnach $\frac{1}{7{,}46}$, alfo etwas mehr als $\frac{1}{8}$.

Betrachtet man den einzelnen Gewölbftreifen *I*, fo erhält derfelbe feine Stützen an der eigentlichen Widerlagsmauer *ac* und in der Mitte der Stirnmauer *ab*. Derfelbe möge innerhalb des Grundriffes des Wölbraumes einen beliebigen Winkel φ mit der Richtung *ab* einfchliefsen. Seine Wölblinie *he* ift ein Theil einer Ellipfe, welche nach der gegebenen Leitlinie des Kappengewölbes beftimmt werden kann. Die Kämpferpunkte *h* und *e* liegen in verfchiedenen wagrechten Ebenen; das Gewölbe felbft befteht nicht aus zwei congruenten Hälften mit fymmetrifcher Belaftung, ift alfo ein unfymmetrifch geformtes und unfymmetrifch belaftetes Gewölbe oder kurz ein einhüftiges Gewölbe.

Wird die Tiefe deffelben durch zwei parallele lothrechte Ebenen im Abftande gleich der Längen-

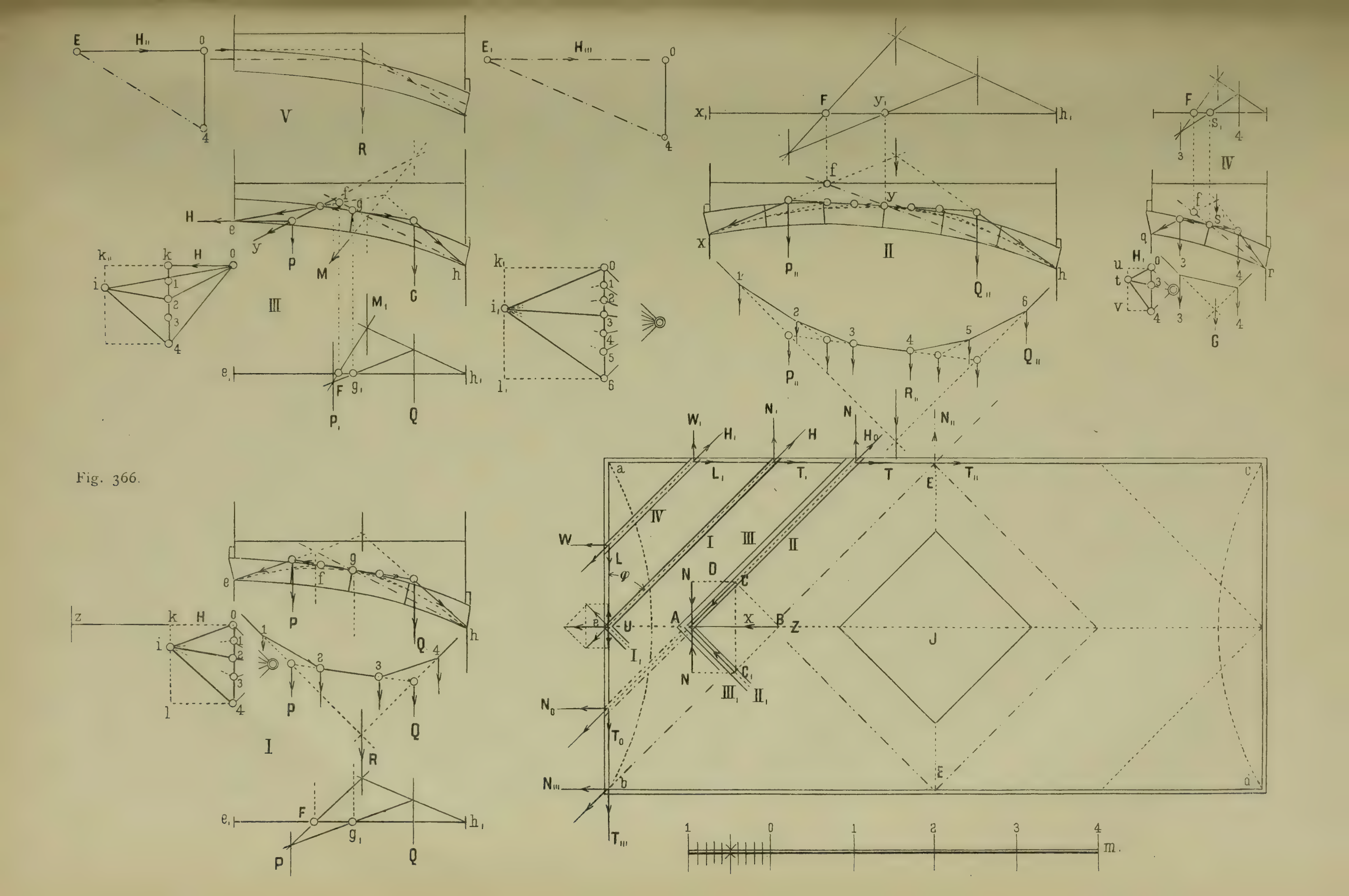


Fig. 366.

einheit begrenzt genommen, fo kann bei gegebener oder gewählter Gewölbftärke und bei feft gefetzter Belaftung, zurückgeführt auf Wölbmaterial, die Stabilitätsunterfuchung des Gewölbftreifens ganz fo vorgenommen werden, wie in Art. 146 (S. 209) mitgetheilt ift. Als Nutzlaft find 320 kg für 1 qm angenommen; die Gewölbftärke ift zu 1 Stein feft gefetzt.

Für die Beftimmung der Mittellinie des Druckes *egh* wurde die durch *h* und *g* gelegte Gerade als Polaraxe benutzt. Der in *g* wirkfame Gewölbefchub ergiebt fich als *2i*, bezw. *i2* im zugehörigen Kräftepolygon. Die in *e* und *h* auftretenden Drucke der Kämpferfugen beftimmen fich in demfelben Polygon als *oi*, bezw. *i4*.

Der Horizontalfchub H wird als wagrechte Seitenkraft des Gewölbfchubes *2i* der Gröfse nach gleich *ok*, bezw. *ko*. Denfelben Werth befitzen auch die wagrechten Seitenkräfte der bezeichneten Kämpferdrücke, welche die Widerlagsmauer und die Stirnmauer treffen. Die lothrechten Seitenkräfte diefer Drücke find *o2*, bezw. *24*.

In der Zeichnung ift $ok = 0{,}78$ m gefunden und, da die Bafis *oz*, welche für die Verwandelung der Belaftungsfläche des Gewölbes benutzt wurde, gleich 2 m ift, fo wird

$$H = 2 \cdot 0{,}78 = 1{,}56 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

Diefem Werthe von H entfpricht nach der auf S. 202 enthaltenen Tabelle eine Gewölbftärke von 1 Stein bis $1^1/_2$ Stein. Da aber nach einer vorgenommenen Prüfung der gröfste Normaldruck N für die Kämpferfuge h nur $2 \cdot 0{,}88 = 1{,}76$ Quadr.-, bezw. Cub.-Met. beträgt, fo wird hierfür nach der angeführten Tabelle eine Gewölbftärke von 1 Stein ausreichend. Bei Kappengewölben kann diefer Werth von N Berückfichtigung finden, und dieferhalb ift die Gewölbftärke mit 1 Stein gelaffen. Diefelbe kann durchgängig beibehalten werden, weil innerhalb des Wölbgebietes *aEJU* kein einziger mit I parallel laufender Wölbftreifen eine gröfsere Spannweite als I felbft erhält. Daffelbe gilt auch für die übrigen Wölbgebiete, welche diefelbe Anordnung der Wölbftreifen erfahren, wie das bezeichnete Gebiet.

Für den mit I zufammentretenden Streifen I_1, welcher vollftändig der Gewölbzone I entfpricht, entfteht derfelbe Gewölbfchub $H = 1{,}56$ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.

Die Dicke diefer Streifen ift aber nicht 1 m, fondern nur gleich einer Backfteindicke, alfo gleich 0,065 m; mithin kommt für jeden Streifen nur ein Horizontalfchub von $1{,}56 \cdot 0{,}065 = \backsim 0{,}1$ Quadr.-, bezw. Cub.-Met. oder bei einem Gewicht des Wölbmaterials von 1600 kg für 1 cbm von $1600 \cdot 0{,}1 = 160$ kg in Betracht.

Erfetzt man diefe beiden Kräfte je für fich durch zwei Seitenkräfte, welche in der Richtung der Scheitellinie *UJ* des Gewölbes und rechtwinkelig hierzu wirkend genommen werden, fo vereinigen fich die erften beiden zu einer wagrechten Mittelkraft $U = 2\,H \cdot \sin\varphi$; d. i. im vorliegenden Falle, da $\varphi = 45$ Grad gewählt ift, $U = 2 \cdot 160 \frac{1}{\sqrt{2}} = 226{,}24$ kg. Diefe Kraft trifft die Stirnmauer rechtwinkelig im Punkte *e*. Die beiden anderen in *e* angreifenden Seitenkräfte, welche an der inneren Seitenfläche der Stirnmauern wirken, halten fich im Gleichgewicht.

Die Widerlagsmauer *ac* erhält vom Streifen I den Horizontalfchub $H = 160$ kg. Die rechtwinkelig zu *ac* gerichtete Seitenkraft deffelben wird alfo $N_1 = H \cdot \cos\varphi = 160 \frac{1}{\sqrt{2}} = 113{,}12$ kg, während die mit *ac* zufammenfallende, in der Kämpferlinie des Gewölbes wirkende Seitenkraft $T_1 = H \cdot \sin\varphi$, d. h. auch hier gleich $160 \frac{1}{\sqrt{2}} = 113{,}12$ kg wird.

Für einen Streifen IV entfteht wiederum ein einhüftiges elliptifches Gewölbe, deffen Stabilitätsunterfuchung in der Zeichnung in bekannter Weife unter Benutzung der Polaraxe *rs* vorgenommen wurde. Der Horizontalfchub H_1 ergab fich zu $0{,}31 \cdot 2 = 0{,}62$ Quadr.-, bezw. Cub.-Met., mithin für die Dicke 0,065 m des Streifens zu

$$0{,}62 \cdot 0{,}065 \cdot 1600 = 64{,}48 \text{ kg}.$$

Diefer Schub trifft fowohl die Stirnmauer *ab*, als auch die Widerlagsmauer *ac*.

Für die rechtwinkelig zu diefen Mauerkörpern wirkenden Seitenkräfte erhält man $W = H_1 \cdot \sin\varphi$ und $W_1 = H_1 \cdot \cos\varphi$, während für die mit den Begrenzungen *ab*, bezw. *ac* zufammenfallenden Seitenkräfte fich $L = H_1 \cdot \cos\varphi$ und $L_1 = H_1 \cdot \sin\varphi$ ergiebt. Für $\varphi = 45$ Grad ift $\sin\varphi = \cos\varphi$ und demnach

$$W = W_1 = L = L_1 = 64{,}48 \frac{1}{\sqrt{2}} = \backsim 45{,}6 \text{ kg}.$$

Von Wichtigkeit ift die Prüfung des Einfluffes, welchen die Gewölbfchübe der fämmtlichen Wölbftreifen zwifchen dem mittleren Stirnftreifen und der Mittellinie *EE* des Gewölbes auf die Stirnmauer

und die eigentlichen Widerlagsmauern ausüben. Jeder Gewölbſtreifen liefert jedoch nur ſcheinbar in der Richtung JU, d. h. in der Scheitellinie des Gewölbes, einen vom Gewölbſchube, welcher in einem Einzelſtreifen auftritt, abhängigen Horizontalſchub. Möchte derſelbe an ſich betrachtet auch keine übermäſsige Gröſse aufweiſen, da ſehr weit geſpannte Kappengewölbe nicht in Anwendung kommen, ſo iſt doch für dieſelben ſehr häufig eine nicht unbedeutende Länge unter Benutzung des Verbandes auf Schwalbenſchwanz erfahrungsmäſsig zur Ausführung gekommen, ohne daſs bei dieſen langen Gewölben übermäſsig ſtarke Stirnmauern erforderlich geworden wären. Wollte man einfach die erwähnten, ſcheinbar auftretenden einzelnen Horizontalſchübe, welche in JU liegen, ſummiren, ſo müſſte bei ſehr groſser Länge von JU ein ſehr groſser reſultirender Horizontalſchub für die Stirnmauer in ihrer Mitte entſtehen, der ſchlieſslich, ſo darf man folgern, bei unendlicher Länge des Gewölbes auch unendlich groſs werden müſſte. Dieſer Annahme, wonach ein ſolches Addiren der einzelnen Horizontalſchübe zuläſſig ſei, widerſpricht aber aller Erfahrung. Sehr lange Gänge ſind häufig mit Kappengewölben im genannten Verbande ausgeführt und doch haben nicht unverhältniſsmäſsig ſtarke Stirnmauern den geſammten entſpringenden Horizontalſchub ohne beſonderen Nachtheil für ihren ſicheren Beſtand und ohne beſondere Verankerung aufgenommen. Die Stärke dieſer Stirnmauern würde ſicherlich nicht genügend geweſen ſein, wenn der durch Summirung der einzelnen Horizontalſchübe der äuſserſt zahlreichen Wölbſtreifen ermittelte geſammte Horizontalſchub für die Stirnmauern thatſächlich zur Wirkung gekommen wäre.

So liefert in dem hier behandelten Beiſpiele der Elementarſtreifen I in Gemeinſchaft mit dem ihm zugehörigen Streifen I_1 einen Horizontalſchub $U = 226{,}24^{\text{kg}}$. Nimmt man an, ein Gewölbe von derſelben Spannweite gleich 4^{m} beſitze ſtatt 8^{m} Länge eine ſolche von 80^{m}, ſo würde die Scheitellinie von U bis Z, für welche nur die Wölbſtreifen von gleicher Spannweite mit dem Streiten I zunächſt einmal in Frage kommen mögen, bei dem Winkel $\varphi = 45$ Grad eine Länge von $\frac{80}{2} - 2 = 38^{\text{m}}$ beſitzen. Für dieſe Strecke würden unter Berückſichtigung von 1^{cm} ſtarken Fugen zwiſchen den Streifen

$$\frac{38}{0{,}075 \dfrac{1}{\sin\varphi}} = \frac{38}{0{,}075 \sqrt{2}} = \infty 380 \text{ Schichten}$$

auftreten und folglich ein reſultirender Horizontalſchub allein für dieſe Schichten von $380 \cdot 226{,}24^{\text{kg}} = \infty 85\,972^{\text{kg}}$ entſtehen, mithin ſich ein Ergebniſs herausſtellen, welches als widerſinnig gelten muſs.

Um zu anderen, der Wirklichkeit näher kommenden Ergebniſſen zu gelangen, möge das Gewölbe bis zu den Streifen III und III_1 ausgeführt ſein. Würden die unterſtützenden Lehrgerüſte auch beſeitigt ſein, ſo würde dieſes Gewölbſtück ſich frei ſchwebend erhalten, ſo fern jeder Streifen zwiſchen I und III an ſich im Gleichgewichte iſt. Sein Widerlager findet derſelbe in ſeiner Geſammtheit an der Mauer ac und an den bis zur Stirnmauer eingefügten Streifen des Gewölbeſtückes.

Bei der praktiſchen Ausführung, wovon ſpäter noch näher die Rede iſt, wird nach und nach jedes Paar zuſammengehöriger Wölbſtreifen für ſich gewölbt; von geſchickten Arbeitern oft aus freier Hand nur unter Benutzung einer ſog. Lehre. Dieſe beſteht aus einem Brettſtücke, deſſen obere Begrenzung der Wölblinie des Streifens entſpricht. Hiernach können auf Schwalbenſchwanz eingewölbte Kappen in der Nähe ihres Scheitels ſelbſt eine Oeffnung behalten; eine Anordnung, welche auch häufiger getroffen wird.

Werden die Gewölbſtreifen II und II_1 eingewölbt, ſo ſtützen ſich dieſelben gegen die Widerlagsmauer und gegen die Streifen III und III_1 derart, daſs die Kämpferdrücke für jene Mauer und für dieſe Streifen in einer Gröſse und Richtung auftreten, welche dem möglichſt kleinſten Gewölbeſchube der Elementarſtreifen II, bezw. II_1 entſprechen. Die Form und Belaſtung dieſer Streifen ſind aber in vollſtändiger Uebereinſtimmung mit dem Streifen I, ſo daſs die ſtatiſche Unterſuchung derſelben auch übereinſtimmende Ergebniſſe mit derjenigen für I liefern muſs.

Die in den Kämpferpunkten e und h für ſich entſpringenden Kämpferdrücke ſind wieder oi, bezw. $i4$. Die wagrechten Seitenkräfte $H = ok$, bezw. $= l4$, die lothrechten Seitenkräfte $o2$, bezw. 24 ergeben ſich gleichfalls wie früher. Die von II und II_1 auf den Gewölbkörper, welcher bis III, bezw. III_1 reichte, übertragenen Horizontalſchübe ſetzen ſich zu einem in der Scheitellinie des Gewölbes wirkenden Horizontalſchub $X = 2D = 2H \sin\varphi$ zuſammen, während die ſenkrecht zur Scheitellinie genommenen Seitenkräfte N der Horizontalſchübe H ſich im Gleichgewicht halten und die Endflächen der Streifen II und II_1 gegen einander preſſen. Der noch übrig bleibende reſultirende Horizontalſchub X trifft zunächſt die angrenzenden Gewölbſtreifen III und III_1 im Punkte A und muſs ſelbſtverſtändlich durch ein entſprechendes Widerlager aufgehoben werden.

Denkt man ſich, die Streifen III und III_1 wären von dem übrigen bis zur Stirnmauer gehenden Gewölbkörper um irgend eine Strecke nach J zu abgerückt, nimmt man ferner an, der übrige Gewölb-

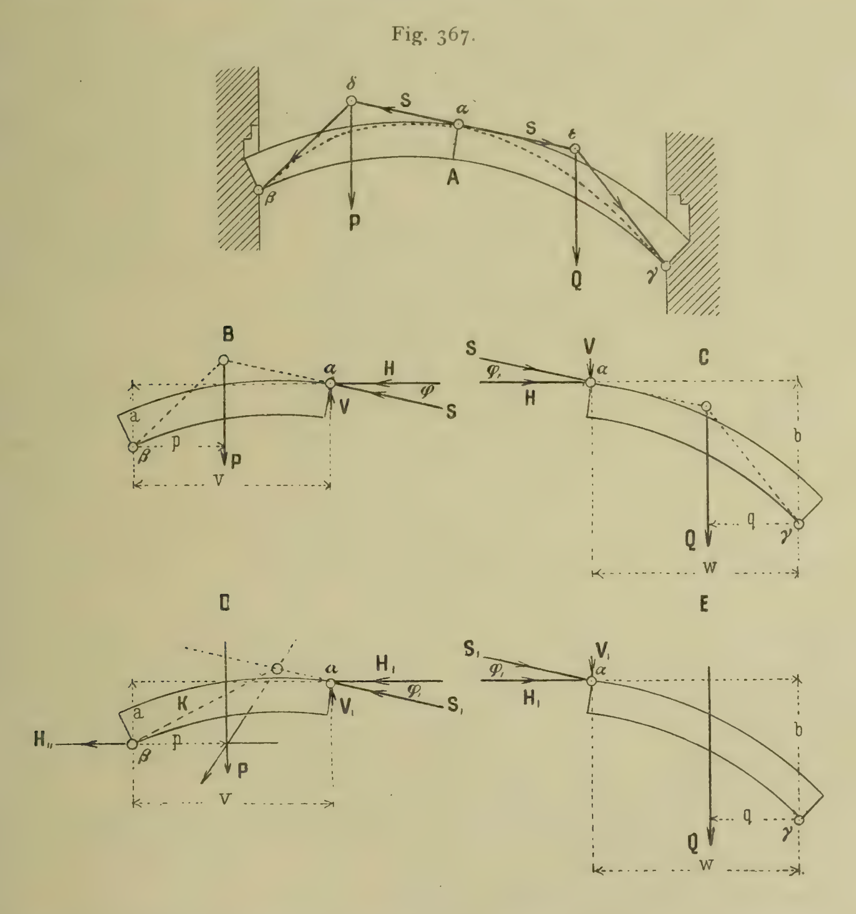
körper sei in der Richtung der Scheitellinie durchschnitten und lege sich mit den von einander getrennten Scheitelflächen seiner Streifen gegen eine unpressbare Strebe, deren Axe in der Scheitellinie liegt, so dass das eine Ende dieser Strebe sich gegen die Stirnmauer, das andere Ende derselben gegen die ausspringende Ecke der Streifen *III* und III_1 setzt; so würde diese Strebe den Horizontalschub X allein aufnehmen und unmittelbar auf die Stirnmauer übertragen, ohne den übrigen Gewölbkörper in Mitleidenschaft zu ziehen.

Würde man für jeden Streifen so verfahren, so käme allerdings die Summe aller Horizontalschübe X der zahlreichen Wölbstreifen von *I* nach *J* ohne Weiteres auf die Stirnmauer, und zwar in der Richtung der Scheitellinie des Gewölbes. Eine derartige Anordnung einer Strebe findet aber nicht statt; ein gewaltig groser resultirender Horizontalschub für die Stirnmauer in der Scheitellinie des Gewölbes kann gleichfalls bei sehr langen Gewölben erfahrungsmäsig nicht auftreten.

Betrachtet man zuvor den Gleichgewichtszustand eines Streifens *III*, bezw. III_1, in dem die in A wirksame Kraft BA von der Grösse X nach der Richtung dieser Streifen in die beiden wagrechten Seitenkräfte CA und C_1A zerlegt wird, welche offenbar jede gleich H der Streifen *II* und II_1 ist, so wird die Beanspruchung der Streifen *III* und III_1 durch diese Kräfte CA, bezw. CA_1 und ihre gegebene Belastung bekannt.

Um danach die Stabilitätsuntersuchung des in solcher Weise beanspruchten einhüftigen Gewölbstreifens *III* vornehmen zu können, möge folgende Erörterung Platz greifen.

Fig. 367.



In Fig. 367 sei für das einhüftige Gewölbstück A der möglichst kleinste Gewölbeschub als S und die dazu gehörige, ganz in der Gewölbfläche verbleibende Mittellinie des Druckes als $\beta\alpha\gamma$ gefunden. Um die Grösse dieses Gewölbschubes durch Rechnung zu bestimmen, ist für die Gewölbtheile B und C der Gewölbschub S unter Berücksichtigung seiner Richtung gegen die beiden Gewölbtheile in die beiden Seitenkräfte H und V zerlegt, wovon erstere wagrecht, letztere lothrecht wirkend genommen sind. Für den Gleichgewichtszustand gegen Drehung erhält man im System B, bezogen auf den Drehpunkt β, bei

der bekannten Lage der Punkte α, β und der bekannten Gröfse, Richtung und Lage der Kraft P, welche das Gewicht des Gewölbtheiles B darftellt,

$$0 = - Vv - Ha + Pp \qquad 206.$$

Für den Theil C mit dem Gewichte Q ergiebt fich in Bezug auf den Drehpunkt γ in entfprechender Weife

$$0 = - Vw + Hb - Qq \qquad 207.$$

Aus diefen beiden Gleichungen erhält man

$$H = \frac{Ppw + Qqv}{aw + bv}, \qquad 208.$$

$$V = \frac{Ppb - Qqa}{aw + bv}, \qquad 209.$$

und hiernach würde die Gröfse des Gewölbfchubes S aus der Gleichung

$$S = \sqrt{H^2 + V^2} \qquad 210.$$

zu beftimmen fein.

Der Neigungswinkel φ des Gewölbfchubes S zur Wagrechten wird ermittelt durch

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{V}{H} \qquad 211.$$

Wirkt nun an dem fonft unveränderten Gewölbftücke A noch eine gegen den Punkt β nach aufsen gerichtete wagrechte Kraft $H_{,,}$ von ganz beliebiger Gröfse, fo läfft fich der Einflufs, welchen diefe hinzugefügte Kraft auf den Gewölbfchub S ausüben könnte, durch folgende Unterfuchung kennzeichnen.

Der neue Gewölbfchub fei S_1; die entfprechenden wagrechten und lothrechten Seitenkräfte desfelben mögen H_1, bezw. V_1 fein. Für den Gleichgewichtszuftand gegen Drehung im Kräftefyftem D ift in Bezug auf den Drehpunkt β

$$0 = - V_1 v - H_1 a + Pp + H_{,,} \,.\, \text{Null}, \qquad 212.$$

während für den Zuftand des Gleichgewichtes gegen Drehung im fonft unveränderten Syftem E unter Annahme des Drehpunktes γ

$$0 = - V_1 w + H_1 b - Qq \qquad 213.$$

fein mufs. Aus diefen beiden Ausdrücken findet man zunächft

$$H_1 = \frac{Ppw + Qqv}{aw + bv}, \qquad 214.$$

d. h. nach Gleichung 208 auch

$$H_1 = H$$

und fodann

$$V_1 = \frac{Ppb - Qqa}{aw + bv}, \qquad 215.$$

oder unter Berückfichtigung von Gleichung 209 auch

$$V_1 = V.$$

Danach mufs auch $S_1 = S$ und $\operatorname{tg} \varphi_1 = \operatorname{tg} \varphi$ fein, fo dafs, wenn, wie hier der Fall, von elaftifchen Formveränderungen des Gewölbkörpers ganz und auch von der Verkittung der Wölbfteine durch Mörtel vorläufig abgefehen wird, die Kraft $H_{,,}$ auf den Gewölbfchub S gar keinen Einflufs ausübt, fobald nur P, Q und die gegebene Lage der Punkte β, α, γ unverändert bleiben. Sie beeinflufft jedoch, wie ohne Weiteres aus der Zeichnung zu erkennen ift, den durch β gehenden Kämpferdruck K, welcher aus $H_{,,}$, P und $S_1 = S$ refultirt und deffen wagrechte Seitenkraft gleich $H_1 + H_{,,}$ ift.

In Fig. 366 ift im Plane *III* unter Einfügen der durch e geführten wagrechten Kraft $H = ok$ des Streifens *II*, bezw. *I* die Stabilitätsunterfuchung für den Streifen *III* vorgenommen und, wie es fein mufs, der in g wirkfame Gewölbfchub wieder wie beim Streifen *I* gleich $2i$, bezw. $i2$ gefunden, während die wagrechte Seitenkraft $ok_{,,}$ des in e wirkenden Druckes $oi = 2H$ ift.

Da auf den Gewölbefchub der einzelnen Streifen durch Hinzufügen jener gekennzeichneten Kraft $H_{,,}$ kein Einflufs ausgeübt wird, da ferner eine unmittelbare Uebertragung der wagrechten Seitenkräfte der ftets gröfser werdenden Kämpferdrücke in den Scheitellinien der einzelnen Streifen von Z bis U auf die Stirnmauer in der Scheitellinie des Gewölbes nicht als zuläffig erachtet werden kann, fo mufs die Beanfpruchung des zwifchen Z und U, bezw. zwifchen J und U befindlichen Gewölbkörpers, fo wie auch der zwifchen a und dem Streifen *I*, bezw. zwifchen b und I_1 befindliche Streifen von der Befchaffenheit

des Streifens IV in anderer Weife erfolgen, als im Vorhergegangenen und hier und dort wohl auch bei der Stabilitätsunterfuchung von Kreuzgewölben, wenn deren Gewölbkappen gleichfalls auf Schwalbenfchwanz-Verband ausgeführt werden follen, angenommen wurde.

Hinfichtlich der Beanfpruchung der Stirnmauern durch den Gewölbfchub wird man der Wahrheit durch folgende Betrachtung näher kommen.

Der gefammte Gewölbkörper befteht im Allgemeinen aus verhältnifsmäfsig kleinen Wölbfteinen, die, wenn auch entfprechend auf Schwalbenfchwanz-Verband geordnet, dennoch das Zerlegen in lauter neben einander liegende Zonen geftatten, welche fämmtlich in ihren Axen unter einem Winkel φ zur Stirnmauer gerichtet find und für die gröfste Länge des Gewölbes über die Scheitellinie deffelben mit hinweg laufen. Die Einwölbung nach einer folchen parallelen Zonenlage würde, wenn die Stützflächen derfelben gegen Gleiten gefichert find und auch fonft der Gleichgewichtszuftand der einzelnen Streifen bekundet ift, praktifch ohne Bedenken vorgenommen werden können. Für die theoretifche Unterfuchung hat diefe Zerlegung den Vortheil, dafs dadurch die möglicher Weife eintretende ungünftigfte Beanfpruchung der Stirnmauer, bezw. Widerlagsmauer in Betracht gezogen wird.

Würden z. B. die Streifen II oder II_1 bis zur Stirnmauer $a\,b$ erweitert gedacht, fo enthält diefe Zone einen Theil II oder II_1 als Haupttheil und den punktirten Theil als Nebentheil. Die gefammte Zone bildet alsdann ein einhüftiges Gewölbe, deffen Stabilität im Plane II unterfucht ift. Hiernach wird der in x angreifende Kämpferdruck für die Stirnmauer $a\,b$ als $o\,i_1$ und der in h wirkfame Kämpferdruck für die Widerlagsmauer $a\,c$ als $i_1\,6$ gefunden. Diefelben fchliefsen mit den Normalen der zugehörigen Kämpferfugen einen Winkel ein, welcher hier weit kleiner bleibt, als der Reibungswinkel des Materials, fo dafs eine Gefahr des Abgleitens des Wölbftreifens, d. h. wie ausdrücklich bemerkt werden foll, nach dem Innenraume des Gewölbes zu, nicht vorhanden ift.

Zerlegt man die Kämpferdrücke in ihre wagrechten und lothrechten Seitenkräfte, fo kommen für die vorliegende Unterfuchung die wagrechten Seitenkräfte $o\,k_1$, bezw. $l_1\,6$ hauptfächlich in Betracht. Beide find von gleicher Gröfse; fie meffen $1{,}2^{\,m}$. Bei einer Zonentiefe von $1^{\,m}$ und bei der zu Grunde gelegten Bafis $o\,z = 2^{\,m}$ entfprechen diefelben einer Kraft von $1{,}2 \cdot 2 \cdot 1600 = 3840^{\,kg}$ und fomit für den Streifen von $1/2$ Stein $= 0{,}065^{\,m}$ einer Kraft von $0{,}065 \cdot 3840 = 249{,}6^{\,kg} = H_0$.

Diefe Kraft H_0 läfft fich am Widerlager $a\,c$ zerlegen in eine Kraft

$$N = H_0 \cdot \cos\varphi ,$$

welche fenkrecht auf $a\,c$ wirkt, und in eine Seitenkraft

$$T = H_0 \cdot \sin\varphi ,$$

welche in der Richtung von $a\,c$ fällt.

Die entfprechend vorgenommene Zerlegung von H an der Stirnmauer $a\,b$ ergiebt

$$N_0 = H_0 \cdot \sin\varphi \quad \text{und} \quad T_0 = H_0 \cdot \cos\varphi .$$

Da hier der Winkel $\varphi = 45$ Grad genommen war, fo wird, weil $\sin 45^0 = \cos 45^0$ ift, auch $N = T = N_0 = T_0$, und zwar $= H_0 \cdot 0{,}7071 = 249{,}6 \cdot 0{,}7071 = \backsim 176{,}5^{\,kg}$.

Hierbei ift nun noch zu bemerken, dafs die Kräfte T und T_0 das Beftreben haben, den Gewölbftreifen längs der Widerlagsfläche zum Gleiten zu bringen. Um diefes Gleiten bei dem noch nicht vollendeten Gewölbe zu verhindern, könnten die Widerlagsflächen für jede Zone rechtwinkelig zur Zonenebene, alfo in der Gefammtheit fägeförmig ausgeführt werden. Eine folche Anordnung unterbleibt meiftens, und es ift alsdann beim Einwölben ein gut und fchnell bindender Mörtel zu verwenden. Ift das Gewölbe in allen Schichten am Widerlager angefetzt, fo halten fich die in der Richtung von a nach E und die in entgegengefetzter Richtung von b nach E beim Schwalbenfchwanz-Verband entftehenden Kräfte T das Gleichgewicht.

Bei der Berückfichtigung der Prefsbarkeit des Wölbmaterials find, wie früher in Art. 141 (S. 194) fchon erwähnt, z. B. für den Streifen II die Punkte x, y und h mehr in das Innere der Stirnfläche zu verlegen. Hierdurch entfteht jedoch ein gröfserer Gewölbfchub, welcher nach den gemachten Angaben leicht beftimmt werden kann.

Wäre der Gewölbkörper in den Ecken von a und b, bezw. von c und d aus nur bis zu den von der Mitte e der Stirnmauer $a\,b$ abzweigenden Streifen I und I_1 ausgeführt und dann nach befeitigter Unterrüftung fich felbft überlaffen, fo würde ein Einzelftreifen von der Befchaffenheit der Wölbfchicht IV nach der Unterfuchung im Plane IV nur einen wagrechten Schub $o\,u = 0{,}4 \cdot 2 \cdot 1600 \cdot 0{,}065^{\,kg} = 83{,}2^{\,kg}$ liefern. Die Seitenkräfte $W_1 = 83{,}2 \cdot \cos\varphi$ und $W = 83{,}2 \cdot \sin\varphi$, d. h. hier $W_1 = W = 83{,}2 \cdot 0{,}7071^{\,kg} = \backsim 59^{\,kg}$ würden in folchem Falle, bei dem die Eckftücke des Gewölbkörpers durch das ganze übrige Gewölbe noch nicht in Mitleidenfchaft gekommen find, für die Widerlagsmauer, bezw. Stirnmauer in Rechnung zu ziehen fein. Sobald aber die Gewölbftreifen in der Richtung von e nach J zu weiter aus-

geführt werden, und namentlich nach Vollendung des Gewölbes wird der ganze Gewölbkörper diefe Eckftücke in Anfpruch nehmen und beeinfluffen.

Denn denkt man fich, dafs beim gefchloffenen Gewölbe die Stirnmauer mit dem bis A reichenden Gewölbkörper feitlich nur wenig ausweichen würde, fo dafs bei A eine Lücke entftände, fo würde der Gewölbfchub des Streifens bei A fich in feiner Kräfteebene fortzupflanzen ftreben, d. h. in der Fortfetzung der Richtungsebene der angenommenen und bei der Wölbung innegehaltenen Zonenlage. Hierdurch wird es erklärlich, dafs, wie die Erfahrung in der Praxis lehrt, kein übermäfsig grofser Gewölbfchub auch bei erheblich langen Kappengewölben mit Schwalbenfchwanz-Verband auf die Stirnmauer gelangt. Der Streifen II liefert innerhalb der Strecke eb der Stirnmauer die Kräfte N_0, bezw. T_0. Der zugehörige Streifen II_1, gehörig erweitert genommen, würde bei dem in Rede ftehenden Verbande, entfprechend einer Zonentheilung des Gewölbes parallel zu II_1, für die Stirnmauer innerhalb der Strecke ea diefelben Kräfte N_0 und T_0 ergeben. Gefellt fich an diefen Stellen noch der Schub W eines antretenden Streifens, z. B. IV, hinzu, fo ift die ungünftigfte Beanfpruchung für die Stirnmauer in eine gewiffe Grenze gebracht. Der Rechnung nach wäre alsdann für diefe Stelle der ungünftigfte Schub gleich

$$N_0 + W = 176{,}5 + 59 = 235{,}5 \text{ kg}.$$

In der Mitte e der Stirnmauer wirkt als ungünftigfter rechtwinkeliger Schub die auf S. 279 ermittelte Kraft $U = 226{,}24 \text{ kg}$. Setzt man in der angegebenen Weife, der Zonentheilung gemäfs, die Unterfuchung der einzelnen Wölbftreifen fort, fo gelangt man in bE zu einem Wölbftreifen von gröfster Spannweite. Derfelbe tritt nun aber als fymmetrifch geformtes und fymmetrifch belaftetes kleines Gewölbe mit elliptifcher Wölblinie auf. Die ftatifche Unterfuchung diefes Streifens ift im Plane V vorgenommen. Man erhält hiernach den möglichft kleinften, jetzt wagrecht gerichteten Gewölbfchub $oE = H_{,,}$ zu

$$1{,}55 \cdot 2 \cdot 1600 \cdot 0{,}065 \text{ kg} = 322{,}4 \text{ kg}.$$

Die fenkrecht zur Widerlagsmauer ac, bezw. bd gerichtete Seitenkraft derfelben ift $N_{,,} = T_{,,,} = 322{,}4 \cdot \cos \varphi = 322{,}4 \cdot 0{,}7071 = \infty\, 228 \text{ kg}$, und ihre rechtwinkelig zur Stirnmauer gerichtete Seitenkraft ift $N_{,,,} = 322{,}4 \cdot \sin \varphi = 322{,}4 \cdot 0{,}7071 = \infty\, 228 \text{ kg}$, deren Gröfse hier auch für die in ac fallende Seitenkraft $T_{,,} = 322{,}4 \cdot \sin \varphi = \infty\, 228 \text{ kg}$ mafsgebend wird.

Für alle bis zu dem durch c parallel mit bE geführten Streifen bleibt beim ganz gefchloffenen Gewölbe derfelbe Gewölbfchub $H_{,,}$, während von hier ab für die Stirnmauer cd diefelbe Unterfuchung wieder eintritt, welche für die Stirnmauer ab vorgenommen wurde. Sollte in der Nähe des Scheitels J eine Oeffnung verbleiben, fo ift anzunehmen, dafs die Streifen, welche diefe Oeffnung begrenzen und fich wiederum gegen die vorhandenen Gewölbftücke legen, ihren Gewölbfchub durch diefelben auf die Widerlager übertragen. Da für diefe Grenzftreifen, wenn fich diefelben nicht etwa, wie bei ganz kurzen Gewölben der Fall fein würde, gegen die Stirnmauern mit legen, derfelbe Gewölbfchub wie für einen ganzen Zonenftreifen bE auftritt, fo erleidet die Beftimmung der Widerlagsftärke für ac, bezw. umgekehrt für bd auch bei einer folchen Oeffnung im Allgemeinen keine wefentliche Aenderung; denn würde hinter jeder Ecke eines folchen Streifens eine Lücke fein, fo würde der Gewölbfchub das Beftreben haben, fich in feiner Kräfteebene fortzufetzen, bis der widerftehende Mauerkörper ac, bezw. bd getroffen wird. Dies gilt für die in der Richtung bE genommenen Zonen eben fo gut, wie für die in einer Richtung aE gewählten Zonen.

Wollte man aber auch die kleinen Grenzftreifen der Oeffnung, der Weite diefer Oeffnung entfprechend, als kleine einhüftige Gewölbe behandeln, fo würde die wagrechte Seitenkraft des Gewölbfchubes derfelben weit kleiner ausfallen, als die wagrechte Seitenkraft des Gewölbfchubes eines Zonenftreifens von der Eigenfchaft des Streifens bE, bezw. aE, fo dafs die für letzteren Streifen erforderliche Widerlagsftärke vollauf auch für jene einhüftigen Oeffnungsftreifen und deren Nachbarftreifen genügt.

Für einen Hauptftreifen bE ift noch derjenige wagrechte Gewölbfchub $E_1 o = H_{,,,}$ im Plane V ermittelt, welcher einer Mittellinie des Druckes angehört, die durch die Mittelpunkte der angenommenen Scheitelfuge und der Kämpferfuge geht.

Es ift felbftredend, dafs für die fichere Standfähigkeit der Widerlagsmauern diefer gröfsere Gewölbfchub, wie in Art. 142 (S. 197) für das Tonnengewölbe angegeben, Berückfichtigung finden foll.

Vergleicht man die gewonnenen Ergebniffe der Rechnung, fo zeigt fich, dafs die auf die Stirnmauer kommenden wagrechten und rechtwinkelig dazu gerichteten Gewölbfchübe $U, N_0 + W$ und $N_{,,,}$ nur ganz wenig von einander abweichen und dafs die Gröfse derfelben auch mit den auf die Widerlagsmauer gelangenden rechtwinkelig und wagrecht gerichteten Schüben $N_{,,}$ der Wölbftreifen bei der Zonentheilung oder Schichtenlage unter einem Winkel $\varphi = 45$ Grad in guter Uebereinftimmung fteht. Hierdurch ergiebt fich auch eine Beftätigung der in der Praxis bekannten und befolgten Regel, wonach bei der An-

wendung des Schwalbenſchwanz-Verbandes bei Kappengewölben unter Verwendung eines Richtungswinkels $\varphi = 45$ Grad im Allgemeinen die Stärke der Stirnmauern gleich der Stärke der Widerlagsmauern anzuordnen iſt.

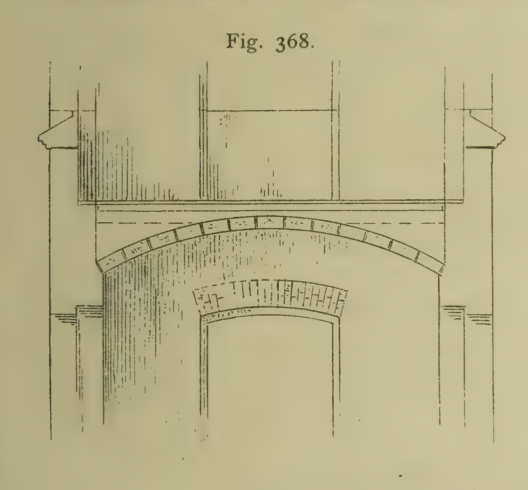
182. Kappengewölbe mit Stich.

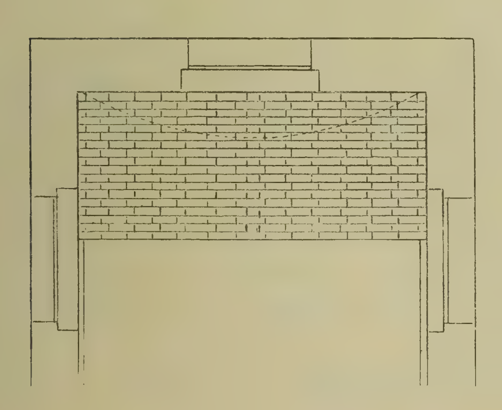
Soll die Scheitellinie des Kappengewölbes mit dem bezeichneten Verbande nicht wagrecht, ſondern unter Hebung des Mittelpunktes der Scheitellinie als gebrochene gerade Linie mit Stich oder als flach gekrümmte Linie (Kreisbogen mit groſsem Halbmeſſer) genommen werden, ſo wird am Grundzuge der Stabilitätsunterſuchung nichts geändert.

Wohl aber ergeben ſich bei einer derartigen Anordnung einige Vortheile in Bezug auf die Abnahme der Gröſse der Gewölbſchübe. Durch das Höherlegen der Scheitellinie bis zum Mittelpunkte derſelben erhalten die einzelnen Wölbſtreifen nach und nach eine gröſsere Pfeilhöhe, und da die Gewichte der Streifen ſich in nennenswerther Weiſe nicht ändern, ſo wird der Wölbſchub im Groſsen und Ganzen kleiner, als bei wagrechter Lage der Scheitellinie. Dadurch wird im Allgemeinen eine geringere Stärke der Widerlagsmauern, bezw. der Stirnmauern des Gewölbes bedingt.

Sind die parallelen Seitenebenen der Wölbſtreifen nicht lothrecht, ſondern geneigt, ſo tritt die im Vorhergegangenen erörterte Beeinfluſſung der Gewölbſtücke an den Ecken des Raumes erſt recht ein, ohne aber, da dieſe Neigung aus praktiſchen Gründen immer nur äuſserſt geringfügig genommen werden kann, die früher ermittelte Gröſse der einzelnen Gewölbſchübe weſentlich zu beeinträchtigen. Denn bei der Beſtimmung derſelben iſt, wie aus dem Plane *II* von Fig. 366 im Beſonderen ſchon hervorgeht, bereits durch Anordnung geneigter Fugenrichtungen die Beſtimmung der Mittellinie des Druckes und des dazu gehörigen Gewölbſchubes berückſichtigt.

Fig. 368.





Müſſen bei dieſen Gewölben Verankerungen der Widerlager eintreten, ſo gilt hierfür daſſelbe wie bei den auf Kuf eingewölbten Kappen.

Die Stirnmauern ſollen niemals ſo ſchwach hergerichtet werden, daſs dieſelben einer Verankerung bedürfen. Würden dieſelben unter beſonderen Umſtänden eine nicht ausreichende Stärke erhalten müſſen, ſo iſt von der Einwölbung der Kappen auf Schwalbenſchwanz-Verband Abſtand zu nehmen.

183. Kappengewölbe mit *Moller*'ſchem Verband.

Beim ſog. *Moller*'ſchen Verbande (Fig. 368) liegen ſämmtliche Wölbzonen parallel mit der Stirnmauer. Die einzelnen Backſteine ſind auf die hohe Kante geſtellt, ſo daſs die Dicke derſelben parallel zur Gewölbaxe iſt. Jede Gewölbzone bildet ein kleines Kappengewölbe für ſich, welches

feine Stütze an den eigentlichen Widerlagsmauern findet. Die Stabilitätsunterfuchung diefer Wölbzonen erfolgt in gleicher Weife, wie bei den auf Kuf eingewölbten Kappen.

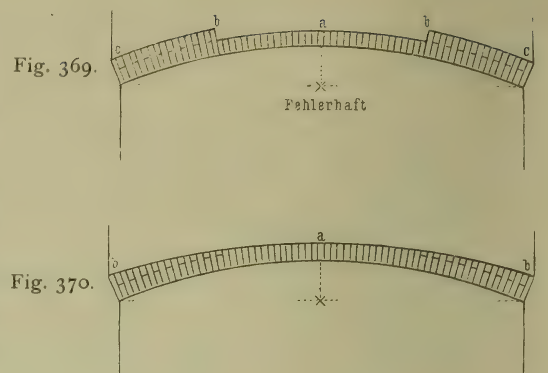


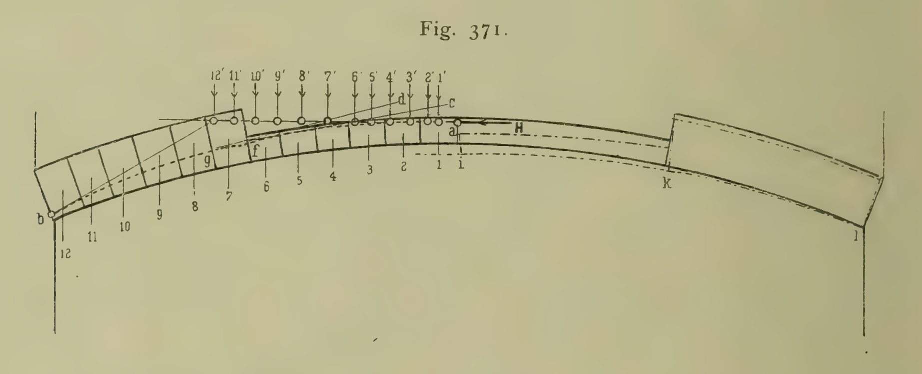
Fig. 369.

Fig. 370.

184.
Kappengewölbe mit zunehmender Wölbdicke.

Soll ein Kappengewölbe nach dem Widerlager zu eine gröfsere Stärke als im Scheitel erhalten, fo mufs, wie fchon in Art. 124 (S. 147) bemerkt ift, die Zunahme folcher Stärke ftetig eintreten, wie in Fig. 370, und nicht, wie in Fig. 369, im plötzlich gebildeten Anfatze *b* erfolgen. Wie die ftatifche Unterfuchung (Fig. 371) zeigt, wird bei diefer Anordnung für den fchwächeren Theil in der Mitte des Gewölbes ein ungünftiger Verlauf der Drucklinie herbeigeführt. Bei *k* zeigt fich eine Bruchfuge; der mittlere Theil fenkt fich dann leicht und nimmt eine neue Lage *aik* an, womit eine Ausbauchung des Gewölbes in der Nähe von *fg*, bezw. *k* verknüpft ift.

Fig. 371.



Diefe Erfcheinungen find thatfächlich bei derart ausgeführten Gewölben beobachtet, die zum Theile nach ihrer Ausrüftung, trotz der Verwendung von gutem Mörtel, eingeftürzt find. Es ift geboten, vor folchen Anordnungen zu warnen. Am zweckmäfsigften ift, um ein Verhauen der Steine zu vermeiden, das Durchführen einer gleichen Stärke vom Scheitel bis zur Widerlagsfuge. Ift diefes in befonderen Fällen bei einer im Scheitel befchränkten Conftructionshöhe nicht möglich, fo mufs durch entfprechendes Verhauen der Wölbfteine am Gewölbrücken die Stetigkeit der Zunahme der Gewölbftärke herbeigeführt werden.

185.
Empirifche Regeln für die Wölb- und Widerlagsftärke.

Bei Kappengewölben, mit nicht zu geringer Pfeilhöhe, welche den gewöhnlichen mittleren Belaftungen ausgefetzt find, wird bei gutem Wölbmaterial die Gewölbftärke für Spannweiten bis zu 2,5 m gleich 1/2 Stein, bis 3 m gleich 1/2 Stein und behaftet mit 1 Stein ftarken, 1 bis 1 1/2 Stein breiten, in Entfernungen von 1,5 bis 2,5 m angebrachten Verftärkungsgurten (vergl. Art. 162, S. 212), oder bei gröfseren Belaftungen durchweg gleich 1 Stein genommen. Bei einer Spannweite von 4 m kann die Gewölbftärke, eine ftetige Zunahme derfelben vorausgefetzt, im Scheitel gleich 1/2 Stein, am Widerlager gleich 1 Stein betragen und aufserdem das Gewölbe mit Verftärkungsgurten verfehen werden.

Kappengewölbe bis zu 5 m Spannweite erhalten durchweg 1 Stein Stärke, unter

Umſtänden, namentlich bei ſehr langen Gewölbzügen, Verſtärkungsgurte oder auch 1 Stein Stärke im Scheitel und 1½ Stein am Widerlager in ſtetiger Zunahme.

Sind die Widerlager der Kappengewölbe nicht beſonders zu verankern, iſt ihre Höhe nicht erheblich über der Rückenlinie des Gewölbes abgegrenzt, ſo nimmt man die Stärke derſelben zu ¼ bis ⅕ der Spannweite an.

c) Ausführung der Kappengewölbe.

186.
Allgemeines.

Als Wölbmaterial für Kappengewölbe wird hauptſächlich Backſtein benutzt. Nur in Gegenden, in welchen dünne, lagerhafte und gute Bruchſteine billiger beſchafft werden können, werden dieſe in Verwendung genommen. Auſserdem werden hier und dort ſtatt der Backſteine auch andere künſtliche Bauſteine, deren Geſtalt im Allgemeinen derjenigen der Backſteine entſpricht, mit Vortheil als Wölbſteine gebraucht.

Soll das Gewicht der Kappengewölbe möglichſt gering werden, ſo verwendet man in beſonderen Fällen Hohlziegel oder Lochſteine, unter Umſtänden auch die poröſen Steine, Schwemmſteine u. dergl. Dieſe Materialien müſſen aber ſtets eine genügende Feſtigkeit gegen Druck beſitzen.

In architektoniſcher Beziehung erſcheint das Kappengewölbe mehr als eigentliche Nützlichkeits-Conſtruction, ſo daſs daſſelbe im Vergleich mit den übrigen Gewölbformen, welche einer weiteren künſtleriſchen Durchbildung fähig ſind, in den Hintergrund tritt. Das Kappengewölbe nähert ſich mehr einer flachen, wagrechten Decke von mäſsiger Breitenabmeſſung, tritt dem entſprechend in die Erſcheinung und erhält danach eine ähnliche Behandlung.

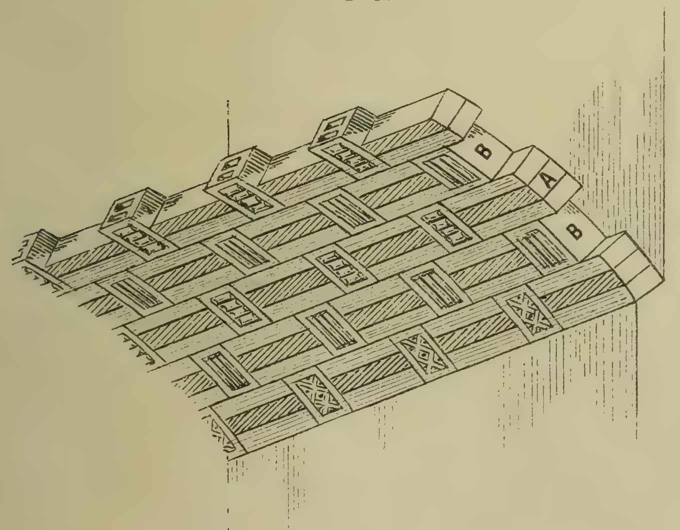
187.
Mauerung der Kappengewölbe.

Je nach dem Verbande, welcher bei der Mauerung der Kappengewölbe in Anwendung gebracht wird, unterſcheidet man

1) Kappengewölbe auf Kuf,
2) Kappengewölbe mit Schwalbenſchwanz-Verband und
3) Kappengewölbe mit *Moller*'ſchem Verband.

Bei den Kappengewölben auf Kuf gemauert gelten genau dieſelben Regeln, welche bezüglich der Mauerung der Tonnengewölbe in Art. 149 (S. 218) mitgetheilt ſind. Hier möge noch bemerkt werden, daſs die Ausführung von gewöhnlichen Kappengewölben in zwei oder mehr flach über einander liegenden Ringſchichten weniger gebräuchlich iſt.

Fig. 372.



Soll bei Kappengewölben die Laibungsfläche frei, ohne Putz, in farbigem und noch beſonders geſchmücktem

Backfteinmauerwerk gelaffen werden, fo kann, entfprechend dem Verbande auf Kuf, eine reicher geftaltete, häufiger ausgeführte Anordnung nach Fig. 372 getroffen werden. Hierbei find gröfsere Wölbfteine *B* gleichfam als Binder eingefügt, zwifchen welchen die Läuferfchichten *A* auftreten.

Die Kappengewölbe mit Schwalbenfchwanz-Verband erhalten die bereits in Fig. 366 (S. 278) im Allgemeinen angegebene Schichtenbildung, fo dafs jede derfelben ein fchmales Kappengewölbe für fich ift, welches in feinen Lagerfugenflächen fo zu behandeln ift, dafs diefelben fenkrecht zur Wölblinie und fenkrecht zur Stirnfläche der zugehörigen Zone ftehen.

Die befondere Ausführungsweife diefer Zonen wird noch weiter befprochen werden.

Kappengewölbe mit *Moller*'fchem Verbande beftehen, wie vorher in Art. 183 (S. 285) bemerkt wurde, aus einer Schar parallel zur Stirnmauer und neben einander liegender felbftändiger Wölbzonen, deren Tiefe gleich der Dicke eines Backfteines, deren Axe mit der Gewölbaxe zufammenfällt und deren Leitlinie fich mit der Leitlinie des Kappengewölbes deckt. Die Lagerfugenflächen der ungeraden Anzahl fymmetrifch zum Schlufsfteine der Zone geordneten Wölbfteine ftehen fenkrecht zur Stirn und zur Laibungsfläche diefes dünnen Wölbftreifens.

188.
Mörtel.

Bei den an und für fich nicht fehr ftarken und aufserdem immerhin flachen Kappengewölben, gleichgiltig welcher Verband dabei Verwendung findet, ift die innige Verkittung der einzelnen Wölbfteine, bezw. der einzelnen Wölbfcharen und Wölbzonen durch guten und möglichft fchnell bindenden Mörtel für einen dauernden Beftand des Gewölbes von hervorragendfter Bedeutung, und zwar felbft dann, wenn die ftatifchen Unterfuchungen den Gleichgewichtszuftand deffelben als gefichert nachweifen. Bei einem mangelhaften Verbinden der Wölbfteine durch Mörtel oder bei Verwendung eines minder guten Bindemittels werden leicht durch oft nur geringfügige, einfeitig das Gewölbe treffende Belaftungen Verdrückungen und Formveränderungen zum Nachtheile des ganzen Gewölbes oder einzelner Stücke deffelben veranlafft.

Als Regel mufs gelten, dafs neben der Beobachtung eines richtigen Verbandes der Wölbfteine vor allen Dingen eine gediegene Vereinigung derfelben durch vorzüglichen, fchnell bindenden Mörtel zu einer zufammenhängenden Maffe zu erzielen ift. Vielfach empfiehlt fich die Benutzung von Cementmörtel allein oder von verlängertem Cementmörtel, wovon bereits in Art. 150 (S. 159) die Rede gewefen ift.

Hinfichtlich der Zeit der Ausführung der Kappengewölbe gilt das in Art. 151 (S. 219) Gefagte gleichfalls.

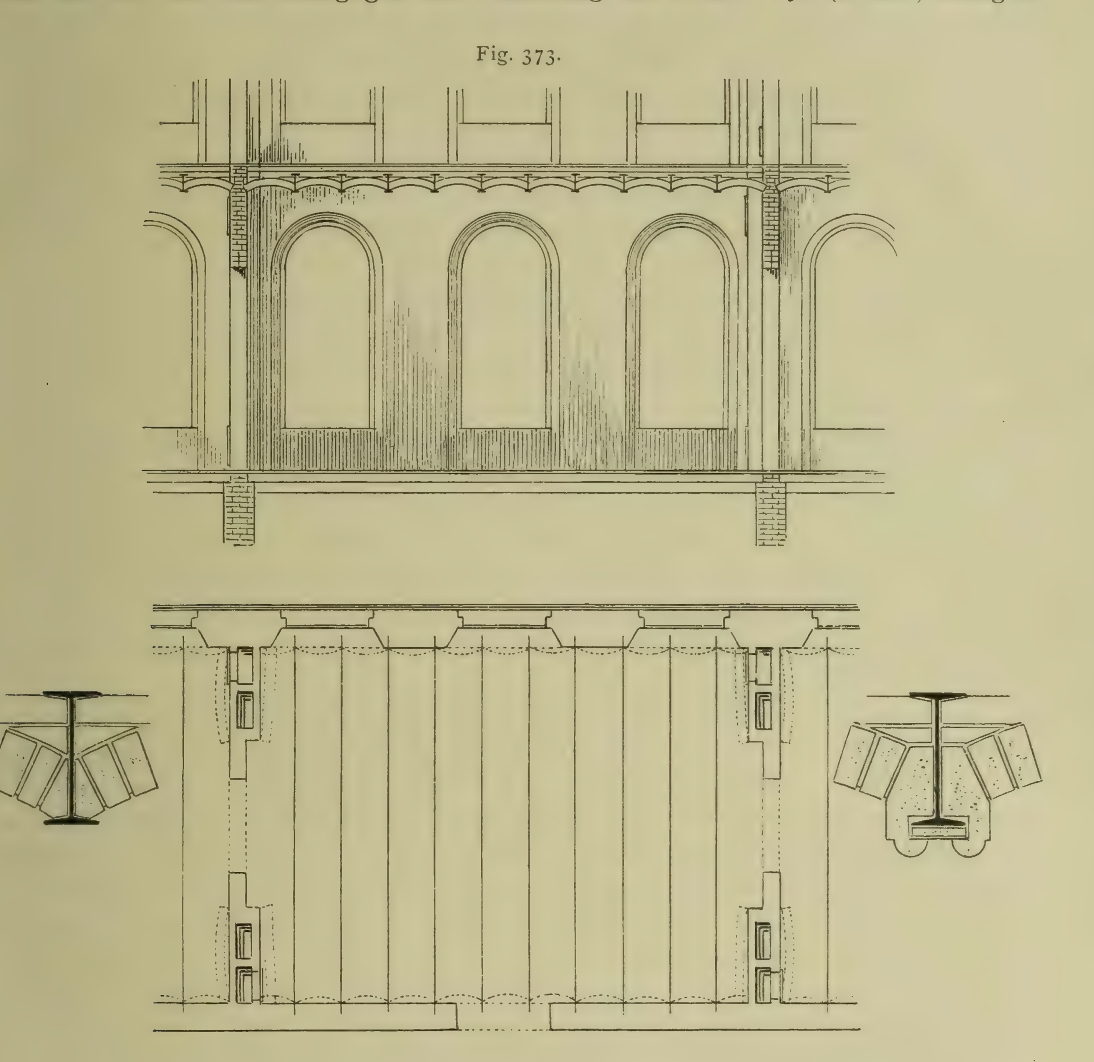
189.
Rüftungen.

Die Rüftungen, auf welchen das Einwölben der Kappengewölbe vorgenommen wird, find äufserft einfach. Sie beftehen wefentlich nur aus entfprechend unterftützten, aus 30 bis 35 mm ftarken Bohlen angefertigten Wölbfcheiben, welche in Entfernungen von 1,0 m bis 1,3 m aufgeftellt, durch Holzkeile unterlagert find und mit einer Bretterfchalung von 30 bis 35 mm Stärke verfehen werden. Bei der Befprechung der gefammten Anlage und Ausführung eines Kappengewölbes wird noch eine nähere Befchreibung diefer Lehrbogen u. f. w. gegeben werden. Bei fehr langen Kappengewölben oder auch bei zwei ziemlich nahe über einander liegenden derartigen Gewölben, wie diefelben etwa bei Heizungs- oder Lüftungs-Canälen vorkommen, benutzt man vortheilhaft ftatt der eingefchalten Lehrbogen die früher fchon in Art. 160 (S. 230) erwähnten Rutfchbogen.

190. Einwölbung.

Die Einwölbung der Kappengewölbe ift unter Beobachtung der in Art. 149 (S. 218) für Tonnengewölbe gegebenen Vorfchriften im Allgemeinen in gleicher Weife vorzunehmen. Auf eine forgfältige Ausmauerung der Gewölbezwickel oder eine gute Ausfüllung derfelben mit Beton ift befonders Bedacht zu lenken. Auch für die Zeit der Ausrüftung gilt hier vollftändig das in Art. 158 (S. 228) Gefagte.

Fig. 373.



191. Ausführung neben einander liegender Kappengewölbe.

Für die Spannweite der Kappengewölbe find mäfsige Abmeffungen bedingt. Diefelben bewegen fich in Weiten von $0{,}5$ bis höchftens $5{,}0$ m. Beim Ueberfchreiten der Spannweite von $5{,}0$ m geht der Nutzen, welchen fonft die flachen Kappengewölbe wegen ihrer geringen Conftructionshöhe zu bieten vermögen, mehr oder weniger verloren.

Im Allgemeinen ift für Kappengewölbe durchfchnittlich eine Spannweite von $2{,}5$ bis $3{,}5$ m üblich, welche ab und an auf $4{,}0$ m gefteigert werden kann.

Bei Räumen, deren Breite diefen durchfchnittlich gegebenen Spannweiten entfpricht, welche aber fonft eine beliebige Länge aufweifen, kann zur Bildung der Decke ein einziger Gewölbezug als Kappengewölbe dienen.

Häufig und nicht ohne Vortheil für die Sicherheit des Gewölbekörpers werden

aber auch Räume von mehr oder minder grofser Länge und einer Breite, entfprechend der Durchfchnittsweite der Kappen, mit neben einander liegenden fchmalen Kappengewölben überdeckt, deren Gewölbaxen rechtwinkelig zu den Längsmauern des Raumes gerichtet find. Bei diefer Gliederung der Decke (Fig. 373) ftützen fich die einzelnen Gewölbjoche gemeinfchaftlich gegen einen eifernen Walzträger in I-Form, deffen Endauflager in den Längsmauern geboten wird, während fich die erfte und letzte Kappe gegen die feitlichen kurzen Umfangsmauern legen. Eine derartige Trägerlage mit dazwifchen gefpannten Kappengewölben kann auch felbft noch für Räume von einer Breite bis zu $8{,}0^{\mathrm{m}}$ in Anwendung kommen, wenn man nur dafür forgt, dafs die einzelnen Kappen, um den Querfchnitt der einzelnen Träger und damit das Gewicht derfelben nicht zu bedeutend, fo wie ferner die Koften dafür nicht zu erheblich zu geftalten, eine nur geringe Spannweite von etwa $0{,}8$ bis $1{,}0^{\mathrm{m}}$ erhalten.

Mit diefer Anordnung von Einzelträgern über $8{,}0^{\mathrm{m}}$ freie Stützweite hinaus zu gehen, ift nicht räthlich, da alsdann bei gröfseren Trägerlängen den Koften derfelben ein Ueberpreis zugefchlagen wird.

Statt folcher Walzeifenträger Eifenbahnfchienen, namentlich wenn diefelben fchon im Betriebe gewefen find, zu verwenden, ift durchaus nicht zu empfehlen, einmal weil die Eifenbahnfchienen für den Anfatz der Widerlagsfteine keinen günftigen Querfchnitt befitzen, und fodann weil bei den fchon gebrauchten Schienen Fehler vorkommen können, die nicht immer ohne Weiteres erkennbar find, welche aber die Tragfähigkeit diefer Schienen höchft unficher machen.

Ueber die Auswölbung der Trägerfache find in Kap. 4 (unter a) bereits eingehende Mittheilungen gemacht worden, wobei auch über zweckmäfsige Trägerformen das Nöthige gefagt ift.

Bei gröfseren Breiten- und Längenabmeffungen von Räumen find, wenn ausfchliefslich Stein-Conftructionen auftreten follen, die befonderen Gewölbjoche gegen Widerlagskörper zu führen, welche parallel mit den Längsmauern oder je nach der beabfichtigten Raumbenutzung parallel mit den eigentlichen Stirnmauern des Raumes als felbftändige Baukörper eingefügt werden und fomit nicht allein eine Deckentheilung, fondern auch eine Raumzerlegung veranlaffen. Hierdurch foll aber, abgefehen von etwa anzulegenden Längs- oder Querfcheidemauern, eine Raumbeengung fo weit als möglich vermieden werden.

192. Gurtbogen.

Eine derartigen Anforderungen entfprechende Conftruction befteht in der Anlage von Bogenftellungen oder von fog. Gurtbogen. Diefe Gurtbogen find fchmale Tonnengewölbe, bezw. Flachbogengewölbe, welche fich gegen einen gemeinfchaftlichen Pfeiler, Gurtbogenpfeiler genannt, ftützen und an ihrem Vor- und Rückhaupt die Widerlagsflächen als »Falze« für die antretenden Kämpfer der aufzunehmenden beiden feitlich gelegenen Gewölbjoche oder Kappen enthalten.

Die Wölblinie der Gurtbogen kann als Halbkreis, gedrückte oder überhöhte Ellipfe, gedrückter oder überhöhter Korbbogen oder fehr zweckmäfsig als Parabel gewählt werden.

Wird ein Flachbogen als Wölblinie genommen, fo giebt man demfelben ein Pfeilverhältnifs von $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$, feltener von $\frac{1}{6}$, letzteres nur, wenn die Gurtbogen die Kappen allein zu tragen haben. Wohl ift aber beim Flachbogen der ihm zukommende oft nicht unbedeutende Gewölbfchub zu beachten, welcher Veranlaffung

geben kann, auf die Benutzung deffelben als Wölblinie für die Gurtbogen bei gewiffen Verhältniffen zu verzichten. Die Spannweite der Gurtbogen wird zweckmäfsig etwa zu 4,0 m genommen.

Die Breite oder Tiefe derfelben beträgt gewöhnlich 1½ bis 2 Steinlängen. Gurtbogen nur 1 Stein breit zu nehmen ift verwerflich, weil diefelben durch den antretenden Gewölbfchub bei ungleicher Belaftung der von ihnen getragenen Kappengewölbe leicht verdreht werden können und weil diefelben durch das eingefchnittene Widerlager für die Kappen zu fehr gefchwächt werden.

Müffen Gurtbogen aufser ihrer Hauptaufgabe, die Kappengewölbe zu ftützen, noch als Tragbogen für Scheidemauern der darüber befindlichen Obergefchoffe eines Bauwerkes dienen, fo wird ihre Breite fchon hiervon abhängig und oft bedeutender als 2 Steinlängen.

Die Stärke der Gurtbogen ift nach ihrer Belaftung zu beftimmen. Haben diefelben nur die beiden zufammengehörigen Gewölbe zu tragen, fo kommt, wenn diefe Gewölbe gleiche Spannweite und gleiche Ueberlaft aufweifen, für jeden Gurtbogen aufser feinem Eigengewicht offenbar noch das Gewicht eines Gewölbes von einer Länge gleich der Länge des Gurtbogens in Betracht. Die von den Kappengewölben herrührenden Kämpferdrücke befitzen wagrechte Seitenkräfte, die Gewölbfchübe, welche unter der gemachten Vorausfetzung von gleicher Gröfse und gegen einander gerichtet find, alfo fich aufheben. Ruhen noch aufserdem Obermauern mit den von ihnen geftützten Balkenlagen u. f. f. auf den Gurtbogen, fo ift unter Berückfichtigung der hieraus entfpringenden Belaftungen die Stärke derfelben zu ermitteln. Die Stabilitätsunterfuchung ift entfprechend dem in Art. 143 (S. 197) Gefagten zu führen, wobei, falls ein Gurtbogen etwa auch noch durch Einzelgewichte belaftet würde, auf die Ausführungen in Art. 144 (S. 205) Rückficht zu nehmen ift. Für die gewöhnlichen Fälle wird die Stärke der Gurtbogen zu 1½ bis 2, bezw. 2½ Steinlängen gewählt.

193. Vorlagen.

Sind die Gurtbogen als ein einzelner Bogen oder als Bogenftellung parallel mit der fchmalen Seite des Raumes anzulegen, fo find bei gröfserer Länge des Raumes in Entfernungen von 2,5 bis 3,5 m und unter befonderen Verhältniffen bis höchftens etwa 4,0 m parallel geftellte Gurtbogenzüge auszuführen. Zweckmäfsig erhalten diefelben an den Umfangsmauern oder Scheidemauern, welche nun als Widerlager für die antretenden Gurtbogen mit dienen müffen, noch befondere Wandpfeiler, fog. Vorlagen, um nicht von vornherein jenen den Raum begrenzenden Mauern ihrer ganzen Länge nach eine folche Stärke geben zu müffen, wie folche der Gewölbfchub der angelegten Gurtbogen erforderlich macht.

In der Bildung diefer Vorlagen liegt ein wefentlicher Nutzen für die Bemeffung der Stärke der Umfangsmauern des mit Kappengewölben zu überdeckenden Raumes, da, fobald diefe Mauern thunlichft von der Stärke des Mauerkörpers, welcher als Widerlager für die Gurtbogen vorhanden fein mufs, zwifchen den Gurtbogenfeldern befreit find, für diefe Baukörper eine wefentlich geringere Stärke genommen werden kann.

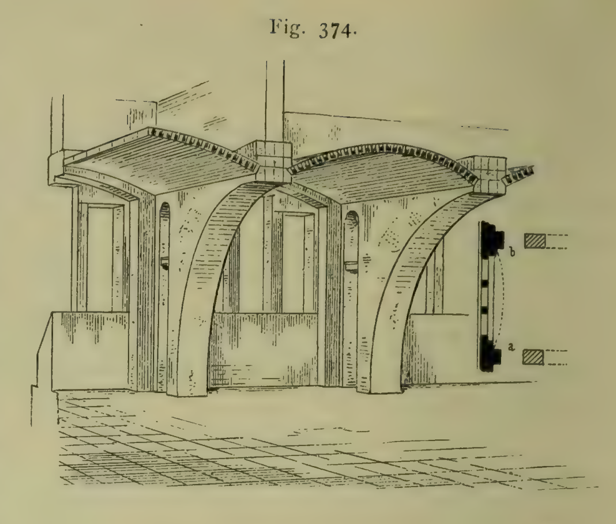
In Fig. 374 ift die Anlage von Kappengewölben mit fog. vorgezogenen Gurtbogen dargeftellt. Die zwifchen den vorfpringenden Vorlagen der Gurtbogen vorhandenen Umfangsmauern treten nur als Schildmauern der Kappengewölbe auf, können alfo, namentlich wenn die Kappen auf Kuf oder nach dem *Moller*'fchen Verbande eingewölbt find, eine nur mäfsige Stärke erhalten und durch Licht- oder

Thüröffnungen in ausgiebigſter Weiſe geöffnet behandelt werden.

Selbſtverſtändlich iſt die Theilung für die Gurtbogen der Axenlage des Raumes, bezw. des ganzen Bauwerkes entſprechend zu nehmen.

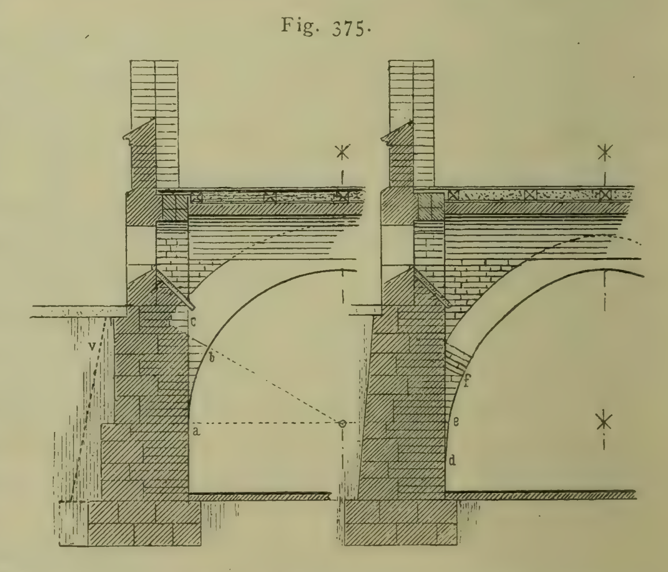
Dafs unter Umſtänden, wie auch in Fig. 374 angedeutet iſt, die Vorlagen der Gurtbogen, ſelbſt bei genügend weitem Vorſprunge und bei geeignet gewählter Wölblinie der Gurtbogen, mit Oeffnungen verſehen werden können, iſt für die Benutzung des Raumes nicht ohne Bedeutung. In derartigen Fällen empfiehlt ſich in erſter Reihe die Verwendung einer Parabel, deren Pfeilhöhe gleich oder gröſser als ihre halbe Spannweite iſt, als Wölblinie für die Gurtbogen, weil hierbei der Kämpferdruck derſelben in günſtiger Weiſe nach ihrem unmittelbar unter dem Fuſsboden des Raumes befindlichen Widerlagsmauerwerk geleitet wird. Bei Flachbogen liegt der Kämpferdruck höher, wirkt alſo ungünſtiger auf die Vorlagen ein. Bei einem Halbkreiſe, einem elliptiſchen Bogen oder einem Korbbogen wird die Beanſpruchung des Wölbmaterials im Allgemeinen ebenfalls ungünſtiger, als beim Parabelbogen mit dem bereits angegebenen Pfeilverhältniſſe.

Fig. 374.



Sind aus beſtimmten Gründen, wie z. B. bei Kellern, die Umfangsmauern der mit Kappengewölben zu überdeckenden Räume an und für ſich ſchon in ſo bedeutender Stärke auszuführen, dafs dieſelben durch den Gewölbſchub der Gurtbogen nicht in ihrer Stabilität geſchädigt werden, ſo können die Gurtbogen, ohne mit Vorlagen verſehen zu ſein, aus den Umfangsmauern hervorwachſen. Dann iſt auch die vorhin angedeutete Vorſicht hinſichtlich der Wahl der Wölblinie für die Gurtbogen von geringerer Bedeutung. In Fig. 375 iſt für einen derartigen Gurtbogenanſatz ein Halbkreis- und ein Parabelbogen als Wölblinie angenommen, für welche die innere lothrechte Begrenzungslinie der Seitenmauer als Berührungslinie in den Berührungspunkten *a*, bezw. *d* auftritt. Bei ſolchen Anlagen ſind die Anfänger der Gurtbogen immer gleich bei der Aufmauerung des Mauerwerkes der Umfangsmauern wie bei *ac*, bezw. bei *def* in wagrechten Schichten vorgekragt mit auszuführen. Hierbei iſt ein regelrechter

Fig. 375.



Verband diefer Anfänger mit dem eigentlichen Mauerkörper unter Verwendung eines tadellofen Mörtels, zweckmäfsig des verlängerten Cementmörtels, innezuhalten.

Im Allgemeinen beträgt bei den gewöhnlichen Anlagen die Stärke der Widerlager der Gurtbogen, je nach ihrer Belaftung, 1/3 bis 1/5 ihrer Spannweite.

194. Strebepfeiler.

Hier möge noch bemerkt werden, dafs für ftark belaftete Gurtbogen mit einem Halbkreife als Wölblinie bei unzureichender Stärke der Umfangsmauer der Kellergefchoffe auch die nöthige Widerlagsftärke für die Gurtbogen durch nach aufsen vorgelegte Strebepfeiler *v*, deren Breite der Tiefe der Gurtbogen mindeftens gleich wird, zu fchaffen ift, eine Anordnung, welche bei der Parabel als Wölblinie feltener nöthig wird.

195. Verankerungen.

Ift für Gurtbogen in befonderen Fällen ein kräftiges Widerlager durch Vorlagen, bezw. durch Strebepfeiler hinter den Umfangsmauern nicht zu fchaffen, erfcheinen auch die Umfangsmauern, gegen welche fich die Gurtbogen legen, hinfichtlich ihrer Stärke nicht genügend ficher, fo hat man feine Zuflucht zu Verankerungen der Gurtbogen zu nehmen. Hierbei ift aber ftets die gröfste Vorficht geboten. Namentlich find die Zuganker dann fo tief zu legen, dafs diefelben durch die Kämpfer der Gurtbogen gehen, um hierdurch den Gewölbfchub derfelben möglichft vollftändig abzufangen. Aufserdem find reichlich grofs bemeffene Ankerplatten zu verwenden. Im Uebrigen kann in diefer Beziehung auf das in Art. 178 (S. 268) Vorgetragene hingewiefen werden.

196. Kreuzung von Gurtbogen.

Bedingt eine Grundrifsbildung das Durchkreuzen von zwei Gurtbogen, bezw. Gurtbogenzügen, fo darf ein kreuzender Gurtbogen niemals fein Widerlager an den Häuptern des anderen Gurtbogens finden. Vielmehr müffen diefe Gurtbogen eine gemeinfchaftliche Fufsfläche und einen gemeinfchaftlichen Stützkörper erhalten.

197. Falze.

Der an den Häuptern der Gurtbogen einzufügende Falz für das Widerlager der Kappengewölbe folgt in feiner unteren Begrenzungslinie genau der Kämpferlinie der Kappengewölbe. Diefelbe foll für alle Kappengewölbe zwifchen Gurtbogen bei einer und derfelben Raumdecke in einer wagrechten Ebene liegen, damit eine möglichft günftige Beanfpruchung der Gurtbogen durch den Schub der Kappen eintritt. Aufserdem follen die Spannweiten und Pfeilverhältniffe für die Kappengewölbe zwifchen den Gurtbogen thunlichft gleich fein, weil bei gröfserer Abweichung in diefen Abmeffungen der benachbarten Kappen der Gurtbogen eben fo ungünftig beanfprucht wird, wie das im Art. 147 (S. 213) befprochene gemeinfchaftliche Widerlager von zwei Tonnengewölben mit verfchiedener Spannweite. Die Kämpferlinie der Kappengewölbe liegt mindeftens 10 cm, beffer 12 cm über dem Scheitel des Gurtbogens, da bei einer tieferen Lage derfelben leicht ein Abdrücken der Scheitelfteine des Bogens unterhalb des Falzes möglich wird.

Die fchräg auffteigende Fläche des Falzes richtet fich in ihrer Neigung nach der Richtung der Kämpferfuge der Kappengewölbe.

Da die Stärke des Gurtbogens in den meiften Fällen nicht fo grofs ift, dafs das Widerlager der Kappen, alfo auch der Falz hierfür in der ganzen Stirnfläche der Gurtbogen verbleiben kann, fo mufs eine forgfame Ausmauerung der Zwickel der Gurtbogen oberhalb der Rückenfläche derfelben, wie auch aus Fig. 375 zu erfehen ift, ftattfinden. Diefe Ausmauerung nimmt dann die Fortfetzung des Falzes mit auf.

Der gefammte an beiden Hauptflächen des Gurtbogens vorkommende Falz wird in der Regel gleich bei der Wölbung des Bogens durch entfprechend zu-

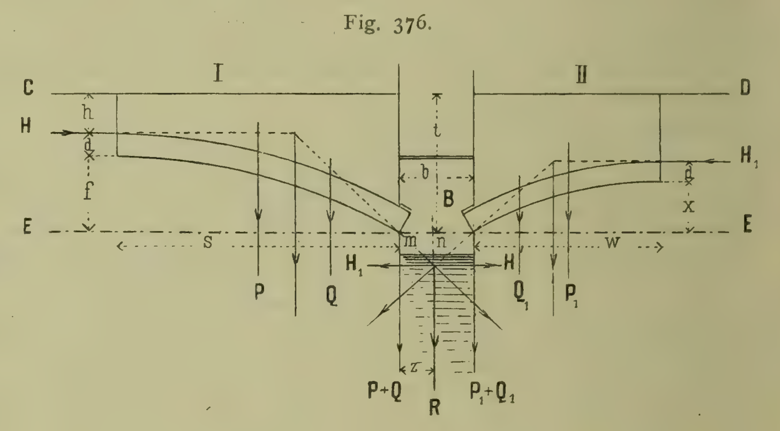
gehauene Wölbsteine mit ausgeführt. Soll dagegen der Falz später eingehauen werden, so muss diese Arbeit erst nach möglichst vollständigem Abbinden und Erhärten der Mörtelbänder des Bogens vorgenommen werden. Eben so ist die Einwölbung der Kappen zwischen den Gurtbogen erst dann zweckmässig in Angriff zu nehmen, sobald die Gurtbogen kräftig im Mörtel abgebunden sind.

Müssen die Gurtbogen parallel mit der Längsmauer des Raumes angelegt werden, so gilt dasselbe, was vorhin über die parallel zur schmalen Seite des Raumes gestellten Gurtbogen mitgetheilt ist.

198. Kappengewölbe mit ungleicher Spannweite.

Kann die erwähnte günstige Beanspruchung der Gurtbogen bei einer ungleichen Spannweite der von einem gemeinschaftlichen Gurtbogen aufzunehmenden Kappengewölbe bei gegebenen besonderen Verhältnissen eine Beeinflussung erfahren, welche nachtheilig für den Gurtbogen werden müsste, so darf, um diese Einflüsse thunlichst zu beseitigen, das Feststellen der zweckmässigen Pfeilhöhen der beiden verschieden weit gespannten Kappen nicht unterlassen werden. In dieser Beziehung begegnet man in der Praxis des Hochbauwesens bei derartigen Anlagen von Kappengewölben noch manchen Willkürlichkeiten, die einzuschränken sind.

Fig. 376.



In Fig. 376 sei I ein halbes Kappengewölbe mit der Spannweite $2s$, der Pfeilhöhe f, der Wölbstärke d und der auf Wölbmaterial zurückgeführten, oben wagrecht abgeglichenen Ueberlast von der Höhe h. Die Grösse des möglichst kleinsten Gewölbschubes H ist nach Gleichung 179 (S. 264) mit

$$H = \frac{s^2}{12\,(f+d)}\,[6\,(d+h)+f]$$

zu berechnen.

Tritt mit diesem Gewölbe das zur Hälfte gezeichnete Kappengewölbe II mit der Spannweite $2w$ an einen gemeinschaftlichen Gurtbogen B, so ist zunächst zu beachten, dass die Kämpferlinien beider Gewölbe in einer und derselben wagrechten Ebene liegen, dass sodann, den Anforderungen des Hochbauwesens meistens entsprechend, die Gewölbe eine gleiche Stärke erhalten und so übermauert oder mit Beton, bezw. Sandschüttung überlagert werden, dass der Fussboden, bezw. die obere Abgrenzung der Gewölbe wiederum in eine und dieselbe wagrechte Ebene gelangt.

Sind nun beide Gewölbe noch ausserdem mit einer gleich grossen Nutzlast für 1 qm Grundrissfläche behaftet, so liegt auch die obere Grenzlinie der Belastungsflächen derselben in einer wagrechten Ebene CD. Die lothrechte Entfernung dieser Ebene von der Kämpferebene EE ist

$$t = f + d + h \qquad \qquad 216.$$

Die Tiefe beider Gewölbe sei gleich der Längeneinheit. Ist ferner x die Pfeilhöhe des Gewölbes II und H_1 der möglichst kleinste Gewölbschub desselben, so wird

nach den Bezeichnungen in Fig. 376 und in Rückficht auf das in Art. 138 (S. 190) Gefagte

$$H_1 = \frac{P_1 \frac{w}{2} + Q_1 \frac{w}{4}}{d + x}.$$

Da

$$P_1 = (t - x)\, w \quad \text{und} \quad Q_1 = \frac{1}{3}\, w\, x \qquad 217.$$

ift, fo wird hiernach

$$H_1 = \frac{(t - x)\frac{w^2}{2} + \frac{w^2 x}{12}}{d + x}$$

und nunmehr hieraus

$$x = \frac{6\,(t w^2 - 2 H_1 d)}{12 H_1 + 5 w^2} \qquad 218.$$

gefunden.

Da der Gurtbogen durch die Kämpferdrücke der beiden Gewölbe im Allgemeinen am günftigften in Mitleidenfchaft gezogen wird, wenn die wagrechten, in der Kämpferebene *EE* liegenden Seitenkräfte H und H_1 fich das Gleichgewicht halten, fo dafs neben dem Eigengewicht und der Belaftung des Gurtbogens von den Kappengewölben nur die lothrecht wirkenden Seitenkräfte

$$R = P + Q + P_1 + Q_1 \qquad 219.$$

der Kämpferdrücke für denfelben in Betracht zu ziehen find, fo folgt, dafs $H_1 = H$ zu fetzen und danach

$$x = \frac{6\,(t w^2 - 2 H d)}{12 H + 5 w^2} \qquad 220.$$

zu berechnen ift.

In diefem Ausdrucke hat H den nach Gleichung 179 ermittelten Werth. Setzt man alfo die Geftaltung des Gewölbes *I* feft, fo ift bei gegebener Spannweite des Gewölbes *II* die Pfeilhöhe x in die durch Gleichung 220 ausgefprochene Abhängigkeit vom Gewölbe *I* zu bringen, fo dafs jede Willkür ausgefchloffen ift.

Um die Lage der Mittelkraft R der lothrechten Seitenkräfte der von beiden Gewölben hervorgerufenen Kämpferdrücke zu finden, kann man, wenn die Breite b des Gurtbogens gegeben ift, den Abftand $m\,n = z$ diefer Kraft R von dem Kämpferpunkte m unter Berückfichtigung von Fig. 376 leicht beftimmen. Man erhält durch $R z = (P_1 + Q_1)\, b$ den Ausdruck, woraus

$$z = \frac{(P_1 + Q_1)\, b}{R} \qquad 221.$$

wird. In der Gröfse R find nach Gleichung 219 auch die Werthe von P und Q mit enthalten. Diefelben ergeben fich nach den Gleichungen 154 u. 155 (S. 191), während P_1 und Q_1 nach Gleichung 217 in Verbindung mit dem aus Gleichung 220 zu berechnenden Werthe von x zu beftimmen find.

Würden die Gewölbkappen fich ftatt gegen einen Gurtbogen gegen einen gemeinfchaftlichen Walzeifenträger legen, fo wird an der geführten Unterfuchung nichts geändert.

Beifpiel. Es fei $2s = 4^{m}$, alfo $s = 2^{m}$, $f = 0{,}5^{m}$ oder $= \frac{1}{8}$ der Spannweite, $d = 0{,}25^{m}$ und $h = 0{,}18^{m}$, d. h. einer Nutzlaft von etwa 280 kg für 1 qm Grundrifsfläche entfprechend. Die Spannweite $2w$ des Nachbargewölbes fei 3^{m}, alfo $w = 1{,}5^{m}$; die Gewölbftärke d fei auch hier $0{,}25^{m}$.

Man erhält nach Gleichung 179 (S. 264)

$$H = \frac{2^2}{12\ (0{,}5 + 0{,}25)}\ [6\ (0{,}25 + 0{,}18) + 0{,}5] = 1{,}37\ ^{qm}.$$

Nach der Tabelle in Art. 143 (S. 202) könnte für die Gewölbftärke gleich 1 Stein $= 0{,}25$ m der Normaldruck $N = 2{,}61$ qm betragen, während H dort nur $= 0{,}87$ qm ift.

Aus den in Art. 180 (S. 273) angegebenen Gründen kann aber für das unterfuchte Gewölbe die Stärke von $0{,}25$ m beibehalten werden.

Nach Gleichung 216 wird

$$t = 0{,}5 + 0{,}25 + 0{,}18 = 0{,}93\ ^{m}$$

und nunmehr nach Gleichung 220

$$x = \frac{6\ (0{,}93\ .\ 1{,}5^2 - 2\ .\ 1{,}37\ .\ 0{,}25)}{12\ .\ 1{,}37 + 5\ .\ 1{,}5^2} = 0{,}305\ ^{m}$$

als gefuchte Pfeilhöhe des Gewölbes mit der Spannweite $2w = 3\,m$. Danach ift alfo das Pfeilverhältnifs diefes Gewölbes nicht auch gleich $\frac{1}{8}$, wie beim gröfseren Gewölbe, fondern nur $\frac{0{,}305}{3}$ = rund $\frac{1}{10}$ zu nehmen.

Fig. 377.

Derartige Ergebniffe find in der Praxis bei der Ausführung von Kappengewölben füglich zu beachten. Nachdem x berechnet ift, läfft fich z nach Gleichung 221 finden. Zuvor ift nach den Gleichungen 217 u. 220:

$$P_1 = (0{,}93 - 0{,}305)\ 1{,}5 = 0{,}938\ ^{qm} \quad \text{und} \quad Q_1 = \frac{1}{3}\ .\ 1{,}5\ .\ 0{,}305 = 0{,}153\ ^{qm}.$$

Aufserdem ergiebt fich nach Gleichung 154: $P = (0{,}25 + 0{,}18)\ 2 = 0{,}86$ qm und endlich nach Gleichung 155: $Q = \frac{1}{3}\ .\ 0{,}5\ .\ 2 = 0{,}333$ qm.

Nach Gleichung 219 ift demnach R gleich der Summe diefer Gewichte, alfo gleich $2{,}304$ qm, fo dafs zuletzt nach Gleichung 221

$$z = \frac{(0{,}938 + 0{,}153)\ b}{2{,}304} = \frac{1{,}091\ b}{2{,}304} = 0{,}473\ b$$

wird. Hiernach liegt die lothrechte Kraft R der Kämpferdrücke in nicht fehr bedeutendem Abftande von der lothrechten Mittellinie des Gurtbogens. Das Gewicht, bezw. die fachgemäfse Uebermauerung deffelben wird eine lothrechte Kraft erzeugen, welche, mit R zu einer neuen Mittelkraft vereinigt, diefe bis nahezu in die lothrechte Mittellinie des Gurtbogenquerfchnittes legt, oder falls die Uebermauerung des Gurtbogens entfprechend vorgenommen wird, fchliefslich die zuletzt erwähnte Mittelkraft felbft durch jene Mittellinie bringt.

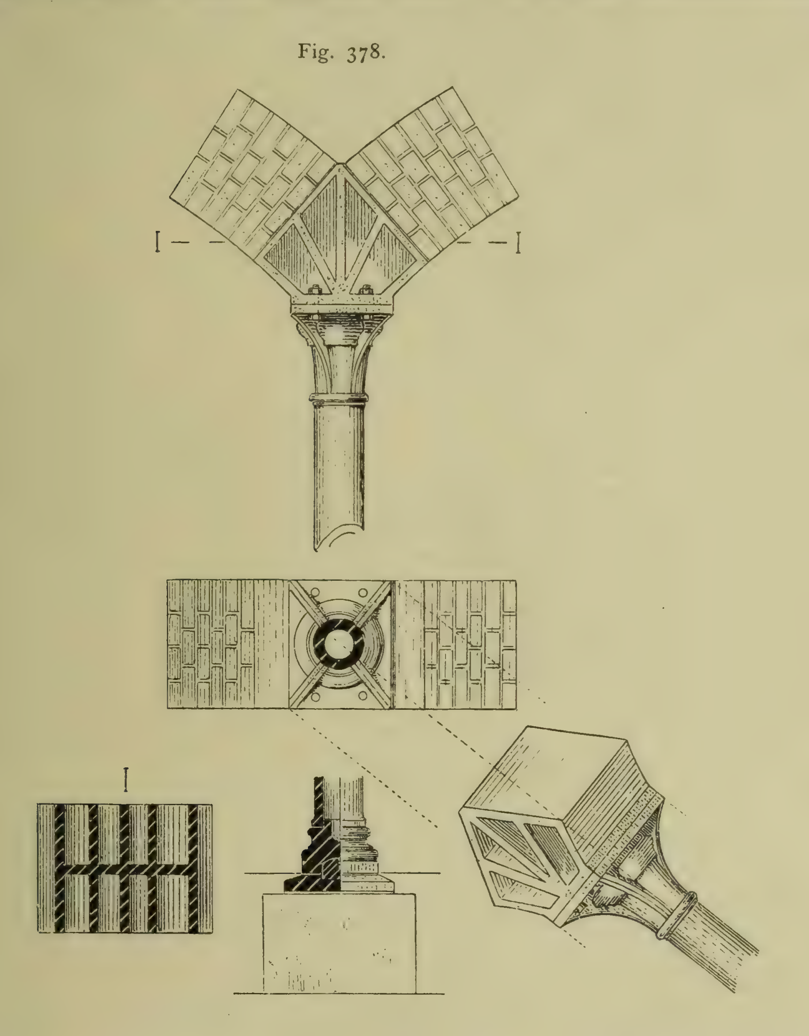
Derartige Vortheile für die Conftruction find alfo ohne grofse Mühe zu fchaffen.

199.
Gurtbogenpfeiler und Anfänger.

Sind zwei oder mehrere Gurtbogen als Bogenftellungen anzuordnen, fo erhalten je zwei derfelben einen gemeinfchaftlichen Zwifchenpfeiler, den fog. Gurtbogenpfeiler, als Stütze und am Kopfe deffelben ihr zufammengehöriges Widerlager. Die Breite diefer Pfeiler wird, wenn diefelben aus Mauerwerk beftehen, in der Regel gleich der Breite der Gurtbogen genommen, wenigftens niemals gröfser gewählt. Die Länge derfelben richtet fich nach der Gröfse des Druckes, welcher vermöge der Gurtbogen mit Kappenbelaftung oder der fonft noch auf die Gurtbogen gelangenden Gewichte in Frage kommt. Sehr felten ift jedoch die Länge diefer Pfeiler fo grofs, dafs diefelbe gleich der wagrechten Projection der beiden Widerlagsfugen der Gurtbogen würde. Vielmehr fchneiden fich die Rückenlinien der Gurtbogen über der lothrechten Axe des Pfeilers in ziemlich hoher Lage über ihren Kämpferlinien. In Folge hiervon entftehen über der Kämpferlinie befondere Beftandtheile des Gurtbogens, die fog. Gurtbogenanfänger. Werden die Pfeiler und die Anfänger aus Backftein hergeftellt, fo gilt genau das in Art. 137 (S. 189) über derartige Gewölbeanfänger Gefagte auch hier. Sollen die Anfänger aus Haufteinen hergerichtet werden, fo

können dieſelben nach Fig. 377 in den meiſten Fällen aus einem einzigen, nach den Wölblinien und den Widerlagsflächen der Gurtbogen bearbeiteten Quader beſtehen. Wird der Gurtbogenpfeiler aus Quadermaterial errichtet, ſo kann derſelbe bei nicht zu groſser Pfeilerhöhe aus einem Stücke beſtehen oder anderenfalls in Schichten von 30 bis 50 cm Höhe ausgeführt werden. Selbſtredend können ſtatt der Gurtbogenpfeiler auch Freiſtützen aus Backſteinmaterial gemauert oder aus Quadern beſtehend angeordnet werden, wenn nur in jedem Falle den betreffenden Stützkörpern der nöthige Querſchnitt gegeben wird. Für die im Hochbauweſen auftreten-

Fig. 378.



den gewöhnlichen Belaſtungen beträgt die Länge der Backſteinpfeiler, gutes und feſtes Material vorausgeſetzt, 2 Stein bis 2 1/2 Stein und die Länge der Quaderpfeiler bei feſtem Steinmaterial 40 bis 50 cm. Statt der aus Steinmaterial zu bildenden Gurtbogenpfeiler können ſelbſtverſtändlich auch guſseiſerne oder ſchmiedeeiſerne Säulen (Fig. 378) als Stützen in Anwendung kommen. Dieſe erhalten dann einen aus Backſtein oder aus Quadern angefertigten Anfänger über ſich oder unter Umſtänden ein guſseiſernes Kopfſtück, welches als Gurtbogenanfänger, wie in Fig. 378, ausgebildet iſt. Treten bei ſich kreuzenden Gurtbogenzügen vier Gurtbogen über einer gemeinſchaftlichen Freiſtütze zuſammen, ſo iſt der allen Gurtbogen zukommende

Anfänger, möge derfelbe aus Backftein oder aus Quadern beftehen, fo zu geftalten, dafs, wie Fig. 379 bei einem aus Backftein gebildeten Mauerkörper zeigt, alle vier Widerlagsflächen in entfprechender Gröfse vorhanden find.

Fig. 379.

Für eine forgfältig ausgeführte, vollftändig fichere Fundamentirung der Gurtbogenpfeiler oder Säulen ift unter jeder Bedingung zu forgen.

200. Beifpiel einer gröfseren Kappengewölb-anlage.

Unter Beobachtung der für die Kappengewölbe zwifchen Gurtbogen in Betracht kommenden Gefichtspunkte ift auf der neben ftehenden Tafel die Zeichnung einer Anlage von Kappengewölben gegeben. Im Grundriffe ift x, x ein Gurtbogenzug, welcher parallel mit der langen Umfangsmauer läuft. Die Anordnung der Gurtbogen mit ihren Vorlagen, Pfeilern und Anfängern ergiebt fich aus der Darftellung derfelben im Grundriffe und den Schnitten *AB*, bezw. *CD*. Im Theile *I* ift das Kappengewölbe als auf Kuf ausgeführt, während im Theile *II* die Einwölbung auf Schwalbenfchwanz-Verband angenommen ift.

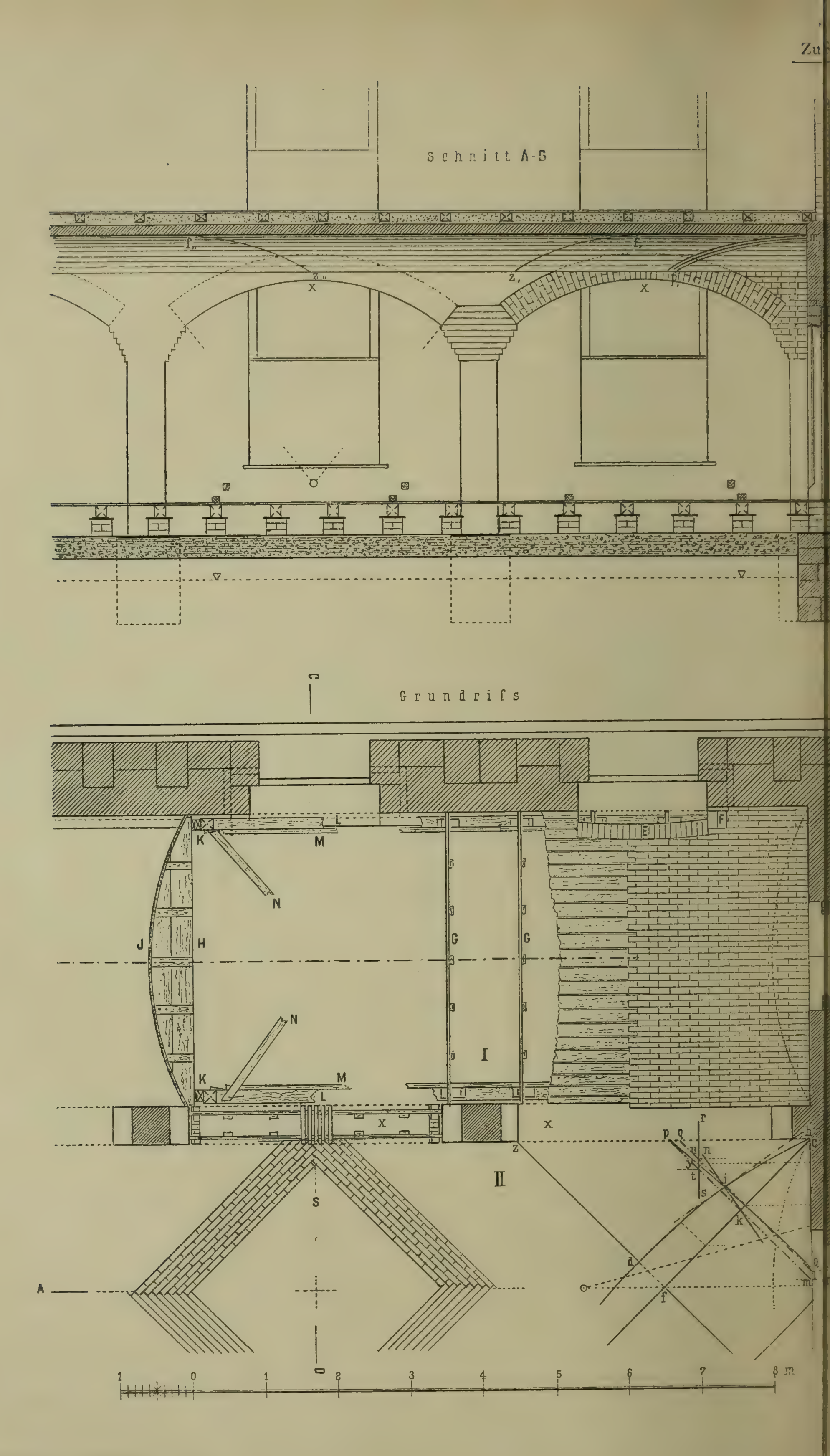
Hinfichtlich des Feftlegens diefes letzteren Verbandes fei noch Folgendes angegeben. Wenn auch im Allgemeinen die Richtung der einzelnen Wölbftreifen unter einem Winkel von 45 Grad zu den Umfangsmauern des zu überwölbenden Raumes angenommen werden kann, fo empfiehlt fich doch, um eine zweckdienliche Verfpannung der Wölbftreifen mit ihren Nachbarftreifen zu erreichen, die Richtung derfelben fo zu nehmen, dafs diefelben in ihren wagrechten Projectionen als Schnittlinien von Ebenen mit der cylindrifchen Laibungsfläche des Gewölbes fich zeigen, welche für jeden Streifen in folgender Weife ermittelt werden.

Eine lothrechte Ebene, deren Grundrifsfpur cf den Winkel zcm halbirt, welchen die Begrenzungen des Raumes an der Ecke c bilden, fchneidet die Laibungsfläche des Gewölbes in der krummen Linie hid. Diefelbe ift nach der Wölblinie der Kappe, alfo hier nach dem Flachbogen ab mit der Pfeilhöhe eb in bekannter Weife beftimmt. Sie ift ein Ellipfenftück. Ermittelt man für einen beliebigen Punkt i derfelben, welcher dem Punkte g des Flachbogens ab entfpricht, nach den Angaben zu Fig. 254 (S. 149) die Normale nik und führt man durch diefelbe eine rechtwinkelig zur Ebene der Curve hid ftehende Ebene, fo fchneidet diefe Normalebene, gehörig erweitert, die Laibungsfläche des Gewölbes in einer krummen Linie, deren Grundrifsprojection die Linie op ift.

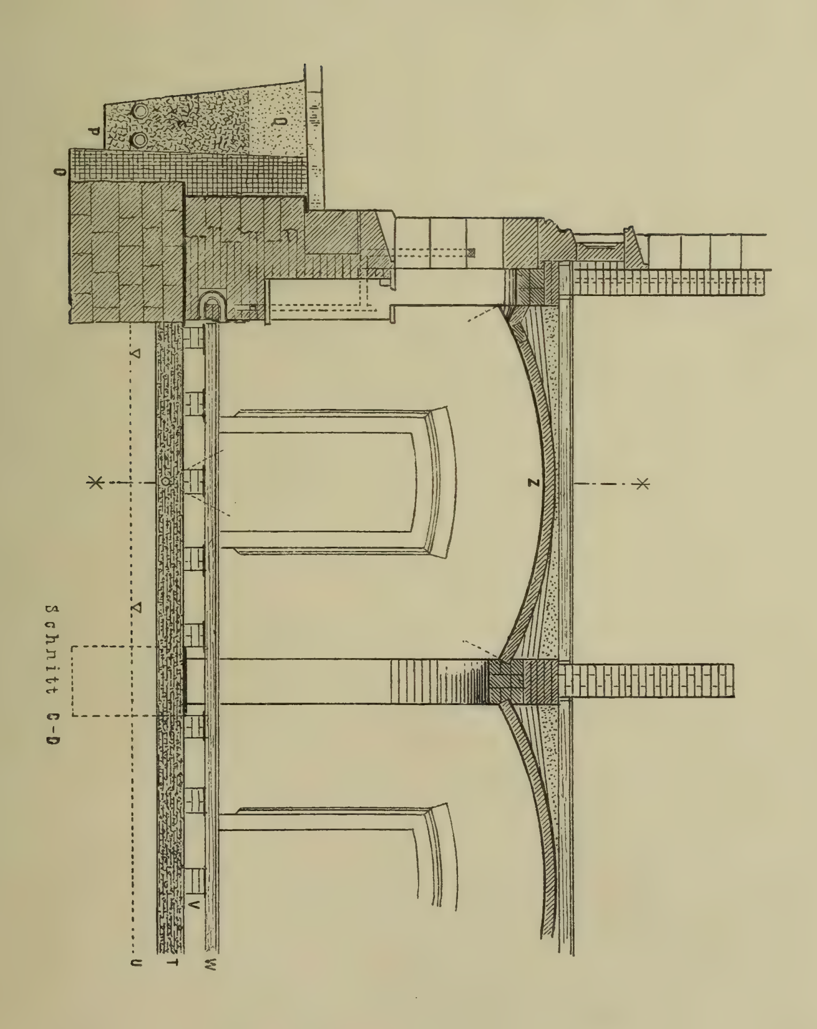
Um die Grenzpunkte o, bezw. p zu erhalten, ift durch den Fufspunkt k der Normalen nk in der Kämpferebene cf des Ellipfenftückes cid, bezw. des Gewölbes felbft die wagrechte Spur pkm der Normalebene n gezeichnet.

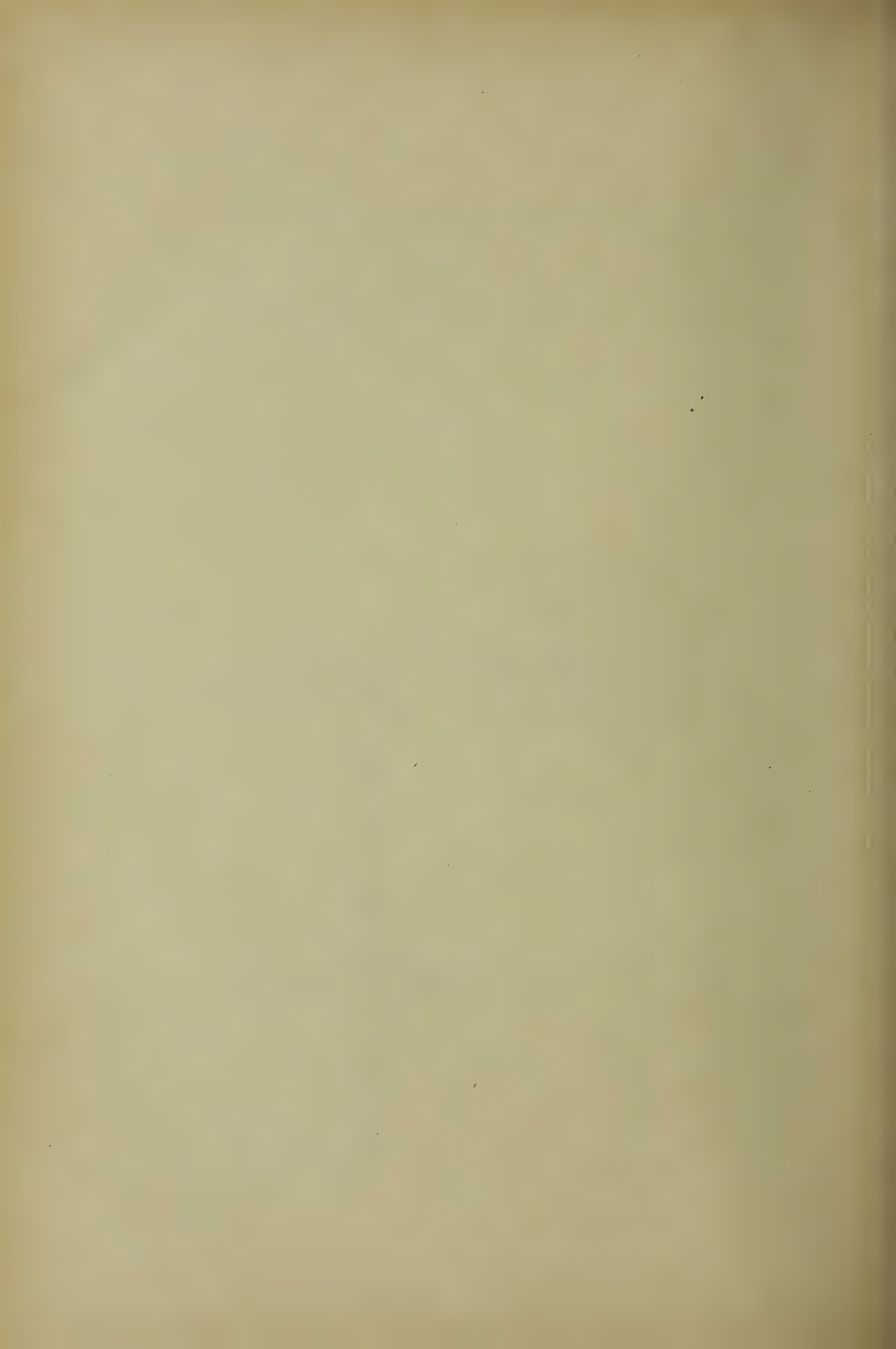
Die Parallele zu pm durch den Punkt i geführt, liefert die Grundrifsprojection einer wagrechten geraden Linie qil, deren Projection in der Ebene der Wölblinie ab die durch den zu i gehörigen Punkt g gezogene, mit ae parallel laufende Gerade ift. Da nun die lothrechte Projection des Punktes m auf ab in m_1, die lothrechte Projection des Punktes t auf der entfprechend verlängerten wagrechten Geraden vg in l_1 erhalten wird, fo ergiebt fich in der Geraden $m_1 l_1$ die lothrechte Spur der Normalebene in der Ebene des Flachbogens ab. Diefe Spur trifft den Flachbogen ab im Punkte o_1. Die wagrechte Projection des Flachbogens ab ift die Gerade cm; die Grundrifsprojection von o_1 ift alfo der auf cm gelegene Punkt o. Der Grenzpunkt p liegt, wie fofort erfichtlich, in der Kämpferebene; die lothrechte Projection deffelben ift alfo der Punkt a. Soll noch irgend ein zwifchen p und o gelegener Punkt diefer Schnittcurve in feinen Projectionen beftimmt werden, fo führt man parallel mit cm an beliebiger Stelle




Schnitt A-B
Grundriss
I
II
A
C
D

Anlage von Kappengewölben zwifchen Gurtbogen.





zwiſchen p und o eine lothrechte Ebene, deren Spur rs ſein möge. Dieſe Spur ſchneidet die vorhin gekennzeichneten Geraden pm und ql in den Punkten t und u. Die lothrechten Projectionen derſelben ſind offenbar w auf der Linie ae und v auf der Geraden l_1gv; mithin würde wa die lothrechte Spur jener in rs parallel zur Ebene abc ſtehenden lothrechten Ebene ſein und die hier befindliche, der Bogenlinie ab völlig entſprechende Wölblinie im Punkte x durchſchneiden. Die wagrechte Projection von x iſt der geſuchte, auf rs gelegene Zwiſchenpunkt y. Theilte man nunmehr die Curve cid in Wölbſchichten von der Dicke eines Backſteines ein, ſo könnten für jeden Theilpunkt in gleicher Weiſe die Normalebenen geführt und die zugehörigen Schnittlinien mit der Gewölbfläche in ihren wagrechten Projectionen aufgeſucht werden.

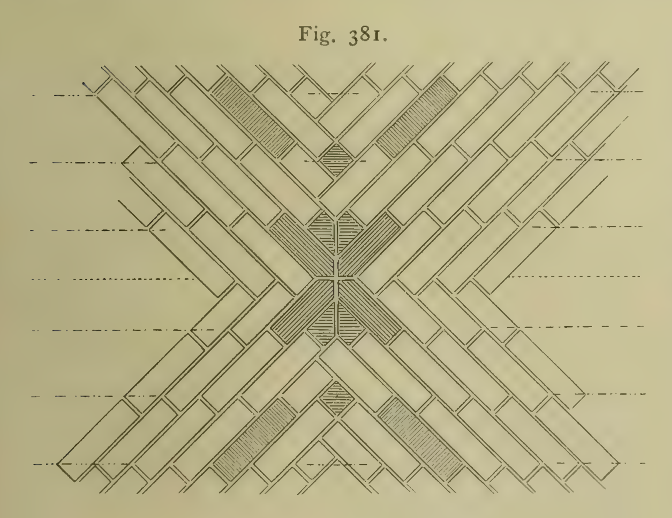
Dieſe wagrechten Projectionen bilden alsdann die Begrenzungen der einzelnen neben einander liegenden Wölbſtreifen, deren Lagerfugenflächen überall in Normalebenen liegen, welche der durch die Ebene cf allgemein erzeugten Schnittlinie mit der Gewölbfläche angehören. Wird cf parallel mit ſich ſelbſt fortgerückt, ſo können, ſelbſtredend unter Benutzung der ſchon beſtimmten Linien von den Eigenſchaften der Streifenkanten po, die ſämmtlichen Wölbſtreifen feſt gelegt und in ihrem Verbande geordnet werden.

Fig. 380.

Dieſe unter dem Namen »Schwalbenſchwanz-Verband« auftretende Wölbungsart wird von den Ecken des Raumes aus begonnen, d. h. allgemein da, wo die Stirnmauern mit den eigentlichen Widerlagsmauern zuſammentreffen. Derſelbe eignet ſich auch, wie Fig. 380 zeigt, für die Einwölbung polygonal geſtalteter Räume.

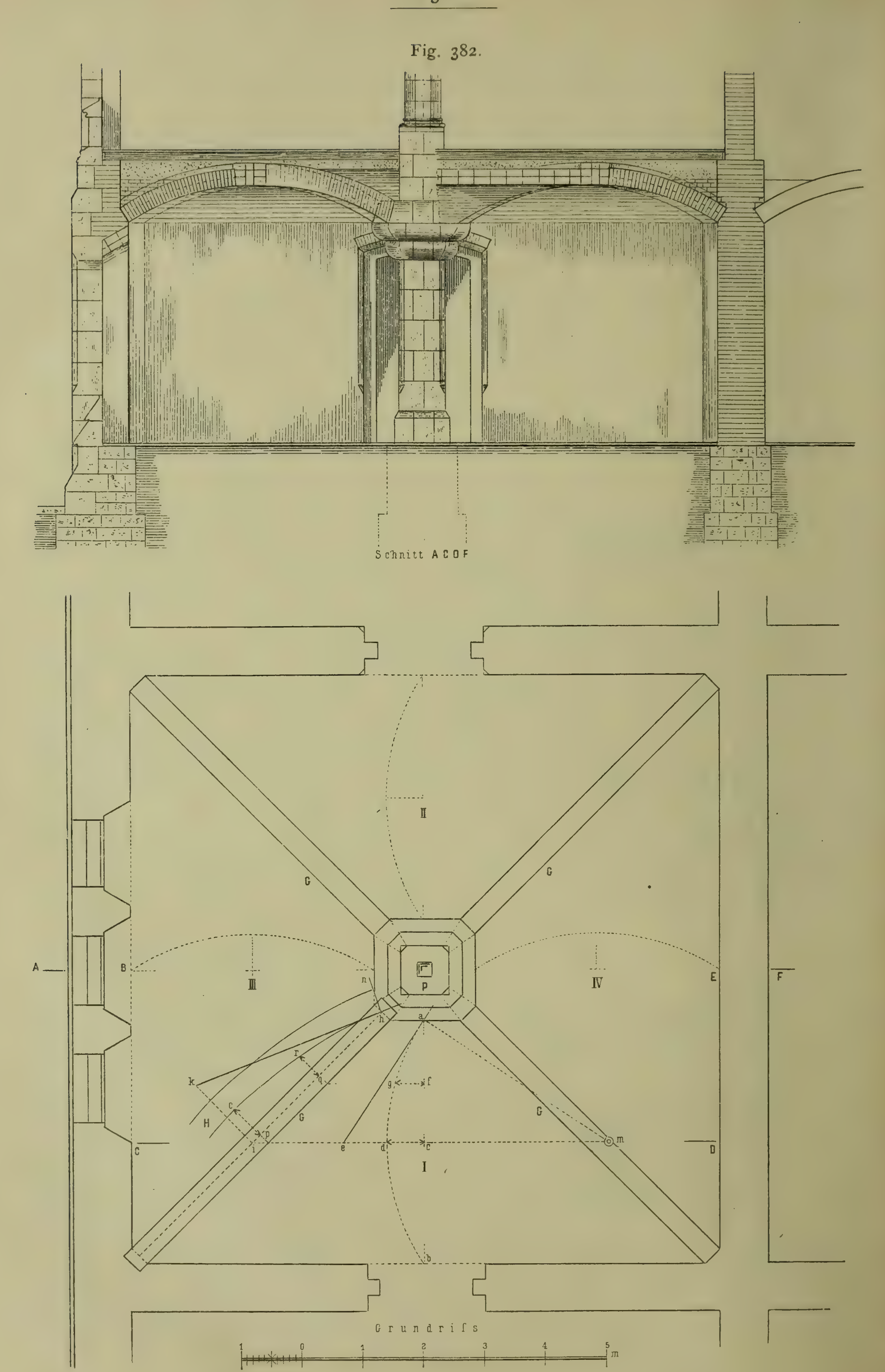
Wie aus dem Grundriſſe in II auf der neben ſtehenden Tafel hervorgeht, treffen ſich die einzelnen Wölbſtreifen auf der Scheitellinie AB und der Wölblinie S in der Mitte des Gewölbes in zickzackförmigem Verbande, ſo daſs zuletzt ein nahezu quadratiſcher Schluſsſtein übrig bleibt. Beim Zuſammentreten der nach entgegengeſetzter Richtung verlaufenden Wölbſtreifen über AB und S, dem ſog. Schnäbeln der Schichten, iſt auf eine ſorgfältige Mauerung und Mörtelung zu achten. Da, wie bei der Stabilitäts-Unterſuchung der Kappengewölbe mit dieſem Verbande in Fig. 366 (S. 278) gefunden iſt, ſämmtliche Umfangsmauern, bezw. die Gurtbogen, welche mit als Widerlager auftreten müſſen, Gewölbſchub aufzunehmen haben, ſo iſt auch für die Stirnmauern ein entſprechender Widerlagsfalz für die hier antretenden Wölbſtreifen vorzuſehen. In der Regel wird gleich bei der Ausführung der Stirn- oder Schildmauern durch geeignete Ausſparung der Anſchluſsfalz hergeſtellt.

Fig. 381.



Eine andere Anordnung des Schwalbenſchwanz-Verbandes zeigt noch Fig. 381. Bei dieſer Einwölbungsart, welche bei Kappengewölben benutzt werden kann, wenn ihre Laibungsflächen ohne Putzüberzug bleiben, vielmehr in farbig geſtalteter Backſteinmuſterung auftreten ſollen, wird die Wölbung in der Mitte der Scheitellinie mit vier geſchnäbelten, ſich kreuzenden Steinen, deren Axen unter 45 Grad nach den Umfangsmauern gerichtet ſind, be-

Fig. 382.


Schnitt ACDF
Grundrifs
A
B
C
D
E
F
G
H
I
II
III
IV
P
a
b
c
d
e
f
g
h
i
k
m
n
p
q
r
1
0
1
2
3
4
5
m

gonnen. Diefer Richtung folgend, find alsdann alle übrigen Wölbftreifen in regelrechtem Verbande, auch etwa einem beabfichtigten Mufter gemäfs geordnet, einzufügen.

201.
Stichkappen.

Müffen in Kappengewölben Stichkappen eingelegt werden, fo gelten für diefelben die in Art. 164 (S. 235) gegebenen Entwickelungen. Auf der Tafel bei S. 298 ift bei *E* der Gewölbkappe *I* der Kranz einer Stichkappe nebft der Aufmauerung *F* für das Ohr derfelben gezeichnet.

Auf derfelben Tafel ift auch die Stellung *G* der Wölbfcheiben *JH* und deren Unterlagerung durch Keile *K* auf dem Untergerüft *L* mit deffen Abfpreizungen *M*, bezw. *N* angegeben. Auch ift für das Trockenhalten des Raumes und des Fufsbodens in Bezug auf den höchften Grundwafferftand *U* durch die Betonfchicht *T*, die Ifolirung der Mauerkörper der Umfangsmauern, bezw. Scheidemauern u. f. f., die Untermauerung *V* der Fufsbodenlager *W*, fo wie durch Luftbewegung unterhalb des Fufsbodens das Nöthige dargeftellt. Aufserdem ergiebt fich aus dem Schnitte *CD* die Anordnung des Schutzes der Umfangsmauern gegen Feuchtigkeit. *O* ift eine Thonfchicht; *P* find Drainrohre; *E* ift Steinfchlag, und *Q* ift eine Kieslage. Die Aufsenfeite der Grundmauer ift mit einem Anftrich von Goudron (Theer) verfehen.

In manchen Fällen, namentlich bei quadratifcher Anlage von Räumen bis zu etwa 8 m Seitenlänge, kann man die Gurtbogen zur Zerlegung der Gewölbekappen auch ganz vermeiden und diefelben durch einen Pfeiler, bezw. durch eine Säule aus Stein oder Eifen erfetzen. Eine folche Anordnung zeigt Fig. 382, wobei vier Kappengewölbe fich gegen einen Pfeiler legen, welcher im Inneren ein Rauchrohr *p* enthält. Die Kappen *I* bis *IV* fchneiden fich in Gratlinien in der Richtung *hi*, welche die inneren Wölblinien der Grate *G* bilden. Diefe find, wie aus dem Schnitte *ACDF* hervorgeht, um 1/2 Stein ftärker ausgeführt, als die Kappengewölbe. Die Ausmittelung diefer Wölblinie *hH* nach der Wölblinie *ab* der Kappen erfolgt in der aus der Zeichnung zu erfehenden Weife. Die Anfatzfläche der Grate *G* am Pfeiler gehört der Normalebene *hn* zum Ellipfenftücke *hH* an. Die Gefammtanordnung diefer Decken-Conftruction ift aus der Darftellung ohne Weiteres erkennbar.

Müffen in Kappengewölben Oeffnungen für Aufzüge, Treppen, Deckenlichter u. f. w. gelaffen werden, fo find diefelben in geeigneter Weife mit Gewölbkränzen, wie in Fig. 383 gezeigt ift, zu umgeben. Auf diefe Kränze wird der Gewölbfchub der antretenden Wölbfchichten übertragen. Die Laibungs- und Rückenflächen diefer Kränze gehören Kegelflächen an. Ihre Durchbildung entfpricht der Anordnung der in Art. 166 (S. 237) gegebenen Kranz-Conftruction bei kegelförmigen Stichkappen vollftändig, und es kann defshalb hier die weitere Befprechung derfelben unterbleiben. Für kleinere Oeffnungen im Gewölbe kann auch ftatt des Kranzes ein runder oder quadratifcher eiferner Rahmen eingefetzt werden, welcher, wenn die Oeffnung als Deckenlicht dienen foll, gleich als Zarge oder Rahmen für die Verglafung zu benutzen ift.

202.
Steigende Kappengewölbe.

Die fteigenden Kappengewölbe, welche bei Treppenanlagen mannigfach zur Ausführung gelangen, ftimmen im Grundzuge mit den in Art. 130 (S. 159) behandelten Tonnengewölben überein. Ihre Verbandart entfpricht der des gewöhnlichen geraden Kappengewölbes.

203.
Ueberwölbung gröfserer Räume.

Sollen gröfsere Räume mit Kappengewölben überdeckt werden, ohne dafs Gurtbogenftellungen benutzt werden, fo wird ein aus eifernen Trägern mit Säulenunterftützung beftehendes Balkenfyftem gefchaffen, welches in feinen Feldern die Gewölbkappen aufnimmt. Bei folchen Anlagen, welche bei Fabriken, landwirthfchaftlichen Bauwerken u. f. w. in ausgedehntem Mafse gefchaffen werden, tritt die Eifen-Conftruction in den Vordergrund, während die eigentliche gewölbte Decke

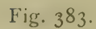


Fig. 383.

ganz nach den im Vorhergegangenen gegebenen Vorſchriften entworfen und ausgeführt werden kann.

Die Beſprechung von Eiſen-Conſtructionen, welche für die Bildung von derartigen Decken geeignet ſind, wird unter C ſtattfinden.

11. Kapitel.

Kloftergewölbe und Muldengewölbe.

a) Kloftergewölbe.

1) Geftaltung der Kloftergewölbe.

204. Form.

Das Kloftergewölbe zeigt in feiner Laibungsfläche feitlich neben einander tretende cylindrifche Flächen. Die Erzeugenden derfelben find parallele gerade Linien, wovon die Anfangserzeugende jedesmal eine in der Kämpferebene liegende Seitenlinie der Grundrifsfigur des Gewölbes ift. Ihre Schnittlinien find ebene Curven, jedoch in ihrer Grundrifsprojection gerade Linien, welche von den Ecken der Grundfigur nach einem gemeinfchaftlichen, innerhalb derfelben gelegenen Punkte gezogen werden können. In den meiften Fällen ift diefer Punkt der Schwerpunkt der Grundfigur, immer aber die wagrechte Projection des Scheitelpunktes des Gewölbes.

Ift für irgend eine der cylindrifchen Flächen des Kloftergewölbes eine ebene Curve als Leitlinie feft gefetzt, fo find hiervon fowohl die Leitlinien aller übrigen Wölbflächen, als auch die fämmtlichen Schnitt- oder Durchdringungslinien derfelben abhängig zu machen.

Diefe für eine beliebige Wölbfläche feft zu fetzende Leitlinie kann ein Flachbogen, ein Viertelkreis, ein fteil auffteigender Kreisbogen, ein elliptifcher Bogen, ein Parabelbogen u. f. w. fein. Der tieffte Punkt einer folchen Urfprungs-Leitlinie liegt in der Kämpferebene des Gewölbes, während ihr höchfter Punkt mit dem Scheitelpunkt des Gewölbes zufammenfällt.

Die Grundrifsfigur kann als Dreieck, Quadrat, Rechteck oder als regelmäfsiges, bezw. unregelmäfsiges Vieleck gegeben fein. Das Feftlegen der cylindrifchen Wölbflächen erleidet in der angegebenen grundlegenden Bildung keine Aenderung. Am beften eignen fich jedoch für die Anlage von Kloftergewölben regelmäfsig angeordnete Grundrifsformen.

Die Zahl der einzelnen zufammenzufügenden Flächen entfpricht der Seitenzahl der gegebenen Grundrifsfigur. Ift diefe Figur ein gefchloffener Kreis oder eine gefchloffene Ellipfe, fo entfteht eine Laibungsfläche, welche derjenigen der Kuppelgewölbe entfpricht, die alsdann aber, da nunmehr die Schnittlinien der einzelnen cylindrifchen Flächen verfchwinden, in ihrer Conftruction von derjenigen der Kloftergewölbe wefentlich abweicht.

Ift die Leitlinie der als Beftimmungsfläche genommenen Wölbfläche eine fteil auffteigende, gefetzmäfsig gebildete ebene Curve, fo entfteht bei einem Vieleck als Grundrifsfigur ftets ein Kloftergewölbe, welches auch wohl die Namen Haubengewölbe oder Walmkuppel führt, jedoch nicht mit der Bezeichnung Kuppelgewölbe belegt werden follte.

Da die fämmtlichen Wölbflächen des Kloftergewölbes von den Umfangsfeiten des zu überwölbenden Raumes aus beginnen und jede derfelben als ein Theil eines Tonnengewölbes anzufehen ift, welches an diefen Seiten feine Fufsfläche findet, fo treten fämmtliche Umfangsmauern des Raumes als Widerlagsmauern auf. Der Abftand des vorhin bezeichneten, in feiner wagrechten Projection beftimmten Scheitelpunktes von der wagrechten Kämpferebene beftimmt die Pfeilhöhe oder kurz die

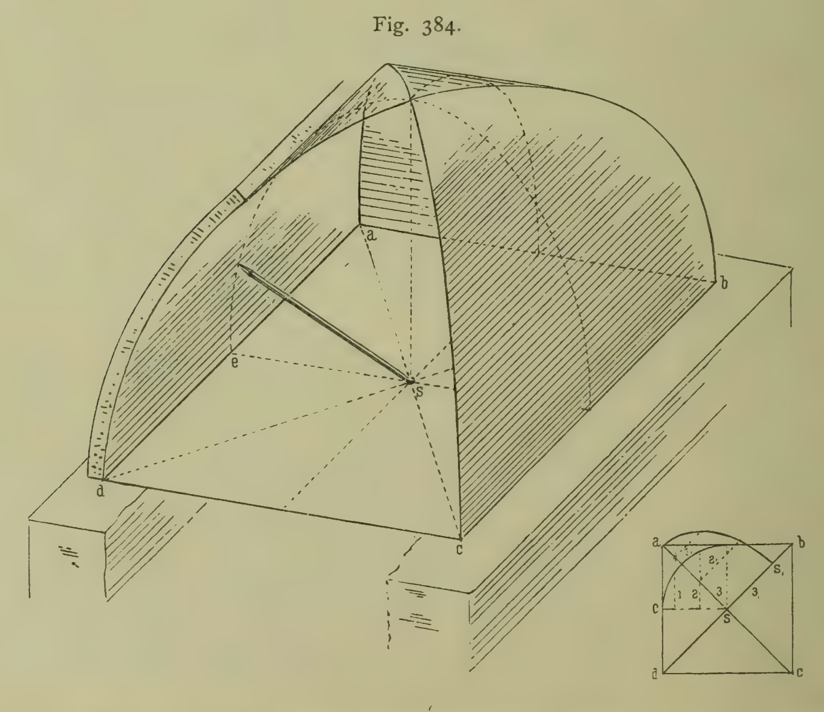
Höhe des Kloftergewölbes. Diefelbe kann je nach den für die Durchbildung des Gewölbes zu ftellenden künftlerifchen, bezw. ftatifchen Anforderungen entfprechend grofs oder klein genommen werden.

Die Schnitt- oder Durchdringungslinien der Wölbflächen heifsen **Gratlinien**, **Grate** oder **Gräte**.

Die den cylindrifchen Flächen zugehörigen Gewölbkörper nennt man **Gewölbkappen** oder auch **Gewölbwangen**. Zwei zufammentretende Gewölbkappen bilden eine **Kehle**. Die innere Kehllinie ift die Gratlinie. Der Winkel einer Kehle entfpricht demjenigen Winkel, welchen die zufammentreffenden Umfangsmauern bilden, von deren Schnittlinie die Gratlinie der Kehle ausläuft.

Aus den gegebenen allgemeinen Anordnungen eines Kloftergewölbes ift zu erkennen, dafs die Geftaltung deffelben eine äufserft mannigfache, ja felbft in künftlerifcher Beziehung bei grofs angelegten Verhältniffen eine reiche und anfprechende fein kann. Bei den gewöhnlichen einfachen Kloftergewölben über rechteckigen oder quadratifchen Räumen mit befchränkter Conftructionshöhe ift allerdings die Wirkung in baukünftlerifcher Richtung nur äufserft mäfsig. Im weiteren Verlaufe der Befprechung des Kloftergewölbes wird fich jedoch zeigen, dafs die Geftaltung deffelben in verfchiedener Weife zu feinen Gunften zu bewirken ift, fo dafs fich die hier und da auftretende, oft ftiefmütterlich erfcheinende Behandlung des Kloftergewölbes vermeiden läfft.

Fig. 384.



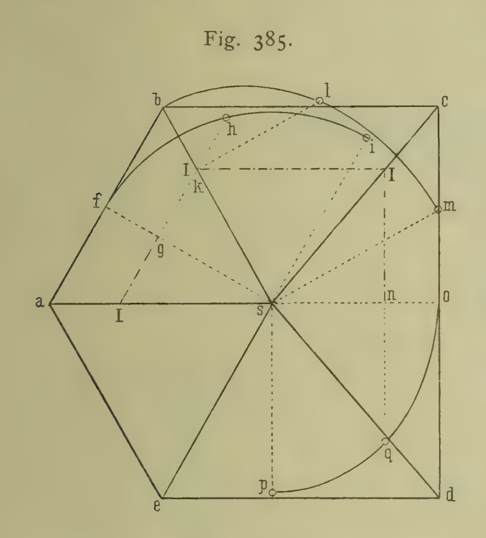
205
Einfache Klofter-gewölbe.

In Fig. 384 ift die Form eines einfachen Kloftergewölbes mit quadratifchem Grundrifs *abcd* gegeben. Die geraden Linien *as*, *bs*, *cs* und *ds* find die wagrechten Projectionen der Gratlinien des Gewölbes. Die Urfprungs-Leitlinie der Gewölbkappe über *asd* ift ein mit dem Halbmeffer *sc*, gleich der Länge der Ordinate *3*, um *s* befchriebene Viertelkreis. Der Punkt *e* ift der Mittelpunkt der Seite *ad*. Die Länge der Ordinate *3* beftimmt die Pfeilhöhe des Kloftergewölbes. Die wirkliche

Gratlinie as_1, hier eine Viertelellipfe, ift in bekannter Weife mittels der Ordinaten *1*, *2* und *3* feft gelegt. Für diefes Gewölbe find die Leitlinien aller übrigen Kappen *asb*, *bsc* und *csd* diefelben Viertelkreife, wie für die Kappe *asd*, und eben fo find alle Gratlinien über *bs*, *cs* und *ds* der Viertelellipfe as_1 gleich. Aus dem Bilde in Fig. 384 ergiebt fich, in welcher Weife die einzelnen Gewölbkappen in den Graten zufammentreffen und, von den Umfangsmauern auffteigend, im Scheitelpunkte des Gewölbes gemeinfam endigen.

Für die Geftaltung der Wölbflächen über einem Vieleck (Fig. 385) erwachfen gleichfalls keine Schwierigkeiten. Hier ift die wagrechte Projection des Scheitelpunktes des Gewölbes der Schwerpunkt *s* des Fünfeckes *abcde*. Gerade Linien, von *s* nach den Mitten der Seiten, z. B. *sf* nach dem Mittelpunkte *f* von *ab*, *so* nach dem Mittelpunkte *o* der Seite *cd* gezogen, geben die wagrechten Projectionen der Leitlinien der einzelnen Gewölbkappen. Diefelben find hier gleichzeitig Lothe, welche von *s* auf die Umfangsfeiten gefällt werden können. Bei ganz unregelmäfsiger Grundrifsform bleiben diefelben meiftens keine Lothe der Seiten, fondern laufen am zweckmäfsigften von *s* nach den Mittelpunkten derfelben. Die wagrechten Projectionen der Gratlinien find wiederum die von *s* nach den Ecken *a*, *b*, *c* u. f. f. gehenden geraden Linien *sa*, *sb*, *sc* u. f. f.

Fig. 385.



Wird nun für eine Gewölbkappe, z. B. für *abs*, eine beliebig gewählte, gefetzmäfsig geformte Curve, hier ein Viertelkreis *fi* um *s* mit dem Halbmeffer *sf* befchrieben, als Urfprungs-Leitlinie feft gefetzt, fo giebt $si = sf$ als Loth in *s* auf *sf* die Pfeilhöhe des Gewölbes. Legt man durch den beliebigen Punkt *h* der Leitlinie *fi* eine wagrechte Ebene, fo laufen die Schnittlinien *II*, *II* u. f. w. diefer Ebene auf den fämmtlichen Gewölbflächen, die gleichfalls in einer wagrechten Kämpferebene beginnen, parallel mit den zugehörigen Kämpferlinien der Gewölbkappen, d. h. parallel mit den Seiten der Grundrifsfigur. Gerade Linien mit den Eigenfchaften der Geraden *II* find Erzeugende der Gewölbkappen.

Soll nun ein Punkt *l* einer Gratlinie, z. B. derjenigen über *bs*, gefunden werden, fo ift offenbar nur im Schnittpunkte *k* der Linie *II* mit *bs* das Loth *kl* auf *bs* zu errichten, deffen Länge gleich ift dem Lothe *gh*, errichtet im Schnittpunkte *g* der Linie *II* mit der wagrechten Projection *fs* der Hauptleitlinie *fi* der Gewölbkappe *asb*; denn *gh* ift die Ordinate diefer Leitlinie für die Erzeugende *II*. In gleicher Weife ift auch die Leitlinie *op* der beliebig genommenen Gewölbkappe *csd* beftimmt. Für diefelbe mufs das Loth *nq* auf *so* gleich $gh = kl$ fein.

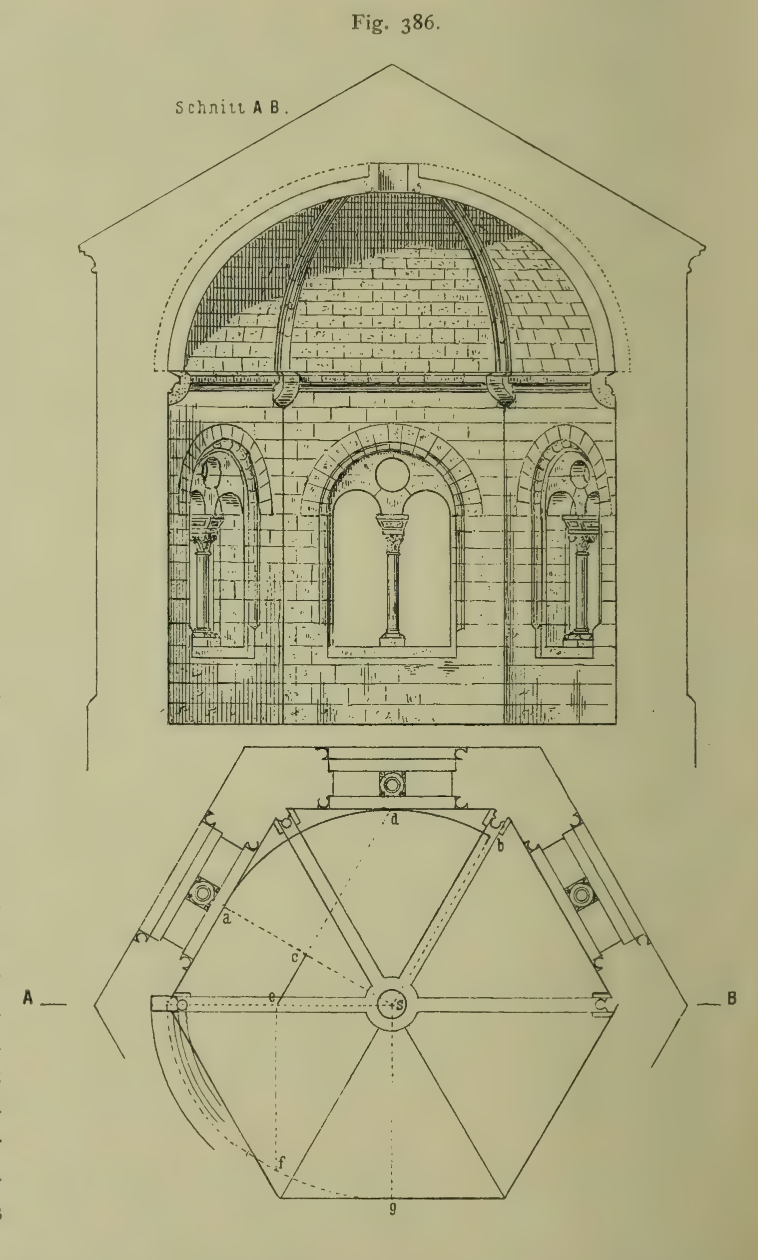
Kloftergewölbe über fehr unregelmäfsig begrenzten Räumen gewähren niemals ein fchönes Ausfehen. Sollen aber folche Gewölbe auch bei diefen Räumen durchaus in Anwendung kommen, fo erfolgt die Ausmittelung der Wölbflächen genau fo, wie foeben für Fig. 385 angegeben ift.

Eben fo gut nun, wie nach Annahme einer Hauptleitlinie für eine Gewölbkappe die Geftaltung des Kloftergewölbes vorgenommen ift, kann umgekehrt auch

nach Feftlegen einer gewählten Kehl- oder Gratlinie die Geftalt der Leitlinien fämmtlicher Kappen und der übrigen Gratlinien beftimmt werden, ohne am Grundgedanken Aenderungen eintreten zu laffen. Von diefer Freiheit wird fpäter noch ausgiebiger Gebrauch zu machen fein.

Betrachtet man die Gratlinien für fich wieder als Wölblinien fchmaler Tonnengewölbe, fo laffen fich diefe als befondere Gewölbkörper zu fog. Gratbogen geftalten, gegen welche fich die einzelnen Wangen des Kloftergewölbes legen. Diefe Gratbogen, entfprechend mit Widerlagsflächen für die Kappen verfehen, treten dann zweckmäfsig in den Kehlen vor und erhalten hier eine mehr oder weniger reiche Gliederung. Durch folche Anordnung ift neben einem Gewinn an architektonifcher und unter Umftänden auch an conftructiver Durchbildung ein Beleben der immerhin ernft erfcheinenden Gewölbkappen möglich.

Fig. 386.



In Fig. 386 ift ein derartiges Beifpiel für ein Kloftergewölbe über einem regelmäfsig fechseckigen Raume gegeben. Die Ausmittelung eines Gratbogens ift unter Berückfichtigung des hierüber bereits Gefagten vorgenommen. Die Gratbogen find im Scheitel gemeinfchaftlich gegen einen gewölbten Kranz oder Ring gefetzt, welcher gleichfam als der mit einer Oeffnung verfehene Schlufsftein des Gewölbes auftritt.

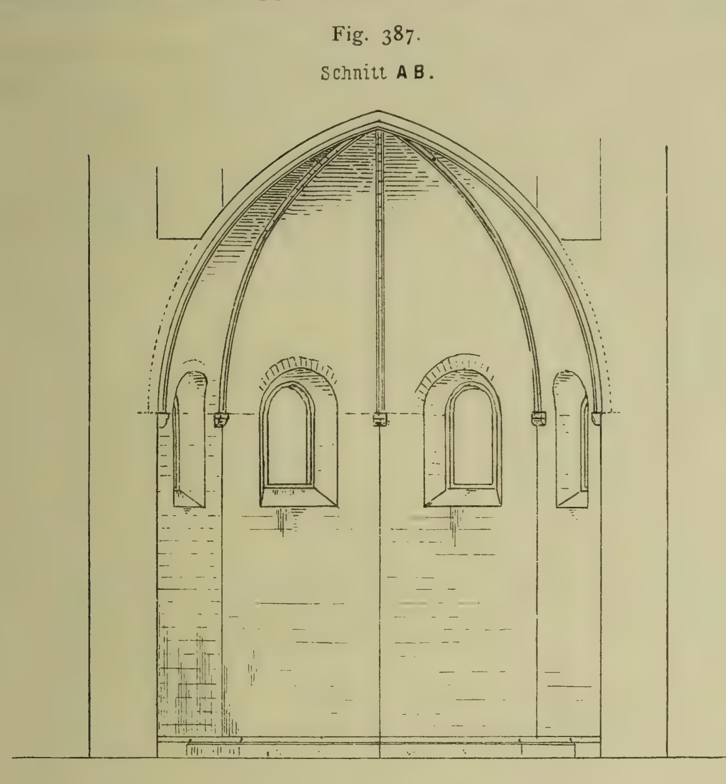
206.
Kloftergewölbe mit Stichkappen.

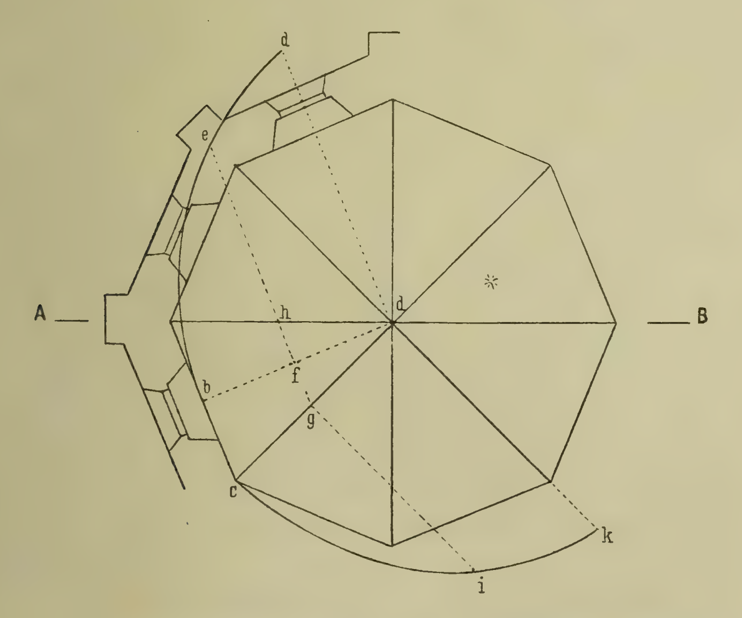
Sind die oberen Abfchlüffe von Thür- oder Lichtöffnungen der Umfangsmauern der Kloftergewölbe höher zu legen als die Kämpferebene deffelben, fo find, wie für die Tonnengewölbe in Art. 133 (S. 161) erwähnt, auch die Kloftergewölbe in ihren

Wangen, welche von jenen Oeffnungen in Mitleidenfchaft gezogen werden, mit Stichkappen zu verfehen. Die Anlagen von Stichkappen oder Lunetten können für fämmtliche Gewölbkappen, felbft dann, wenn in den zugehörigen Widerlagsmauern gar keine Oeffnungen vorhanden find, ftattfinden. Hierdurch erfahren die Kloftergewölbe ein leichteres und freieres Ausfehen, als folches bei einem gewöhnlichen Kloftergewölbe ohne Lunetten der Fall ift.

Fig. 387.

Schnitt AB.





Für die Form und Durchbildung folcher Stichkappen gilt das hierüber in Art. 164 (S. 235) bereits Mitgetheilte.

In Fig. 387 ift ein Kloftergewölbe mit kleineren Stichkappenanordnungen und Graten, welche an den Kehllinien vortreten, gegeben.

Die Urfprungs-Leitlinie ab der Gewölbkappen ift ein Kreisbogen, deffen Halbmeffer gröfser ift, als das Loth db auf bc. Die Gratbogen ck find Ellipfenftücke, welche alsdann fpitzbogenartig über dem achteckigen Raume zufammentreten. Irgend ein Punkt i des Gratbogens ift zu beftimmen, indem man z. B. die gerade Erzeugende gh parallel zu bc zieht, im Schnitte f derfelben mit dem Lothe db, d. h. der wagrechten Projection der Leitinie bd, das Loth fe auf db errichtet und das in g auf dc, d. h. der wagrechten Projection des Gratbogens, errichtete Loth $gi = fe$ abträgt.

Durch diefes Feftftellen der Gewölbform nimmt das Kloftergewölbe die Geftaltung eines Haubengewölbes oder einer Walmkuppel an.

Man kann jedoch ohne Benutzung der eigentlichen Stichkappen in einfacher

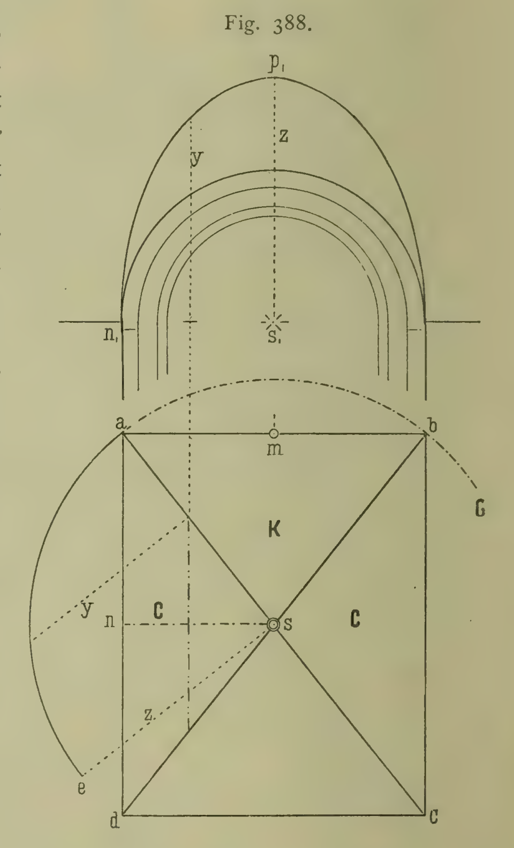
Weiſe, namentlich bei einer Deckenbildung durch Kloſtergewölbe über regelmäſsig begrenzten Grundriſſen, einzelne Umfangsmauern mit gröſseren Thür-, bezw. Fenſteröffnungen verſehen, ſobald eine weitere beſondere Umgeſtaltung des eigentlichen Kloſtergewölbes in Betracht gezogen wird.

207. Kloſtergewölbe mit ſphäriſchen Kappentheilen.

Die Grundlage für dieſe Geſtaltung der Kloſtergewölbe beſteht in der Vereinigung der eigentlichen cylindriſchen Gewölbwangen mit ſphäriſchen Gewölbkappen, wobei die ſämmtlichen Gewölbflächen von Gratlinien abhängig gemacht werden, welche beſtimmt vorgeſchriebenen Kreisbogen entſprechen.

Für die Entwickelung der nach dieſer Anſchauung zu bildenden Gewölbflächen möge zunächſt die Deckenanordnung für einen rechteckigen Grundriſs (Fig. 388) behandelt werden. Die wagrechten Projectionen der im Scheitelpunkte des Gewölbes zuſammentretenden Gratbogen ſind die Hälften der Diagonalen des Rechteckes. Nimmt man die Gratlinie über *as* als Viertelkreis *ae* mit dem Halbmeſſer *sa* an und bemerkt man ferner, daſs hier ohne Weiteres auch der Gratbogen über *bs* ein eben ſolcher Viertelkreis mit dem Halbmeſſer $sb = sa$ wird, ſo ſchneiden ſich dieſe beiden Kreisbogen in einem Punkte, dem Scheitelpunkte des Gewölbes. Beide Kreiſe ſind dann aber Theile von zwei gröſsten Kreiſen einer Kugelfläche, deren Mittelpunkt *s* und deren Halbmeſſer ebenfalls $sa = sb$ iſt. Der Mittelpunkt *s* dieſer Kugelfläche liegt in der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes, welche auch die Eckpunkte *a* und *b* des gegebenen Rechteckes enthält. Danach iſt auch der um *s* mit dem Halbmeſſer *sa* durch *a* und *b* gehende Kreis *G* ein gröſster Kugelkreis. Die Laibungsfläche der Gewölbkappe *K*, welche zwiſchen den Kugelkreiſen über *sa* und *sb* liegt, kann alſo als Kugelfläche eingefügt werden. Die in *ab* errichtete lothrechte Ebene ſchneidet dieſe Kugelfläche nach einem Halbkreiſe mit dem Halbmeſſer $ma = mb$. Dieſer Halbkreis iſt der Stirnbogen der Kugelkappe *K*. Sein Scheitelpunkt liegt über der Kämpferebene, ſo daſs die Möglichkeit vorhanden iſt, im Mauerkörper *ab* eine Thür- oder Lichtöffnung mit der oberen Begrenzung gleichfalls über der Kämpferebene abſchlieſsen zu können. In gleicher Weiſe läſst ſich auch die Gewölbkappe *csd* als Kugelkappe einführen. Dagegen mögen die mit *C* bezeichneten Gewölbkappen cylindriſche Laibungsflächen behalten, alſo Kappen des eigentlichen Kloſtergewölbes bleiben. Ihre Leitlinien ſind nun aber von den für die Gratlinien *as*, bezw. *bs* angenommenen Kreisbogen abhängig zu machen. Dieſe Leitlinien werden hier Viertelellipſen, welche in bekannter Weiſe, z. B. über *ns* vermittels der Ordinaten *y*, *z* u. ſ. w., als $n_1 p_1$ zu beſtimmen ſind.

Fig. 388.



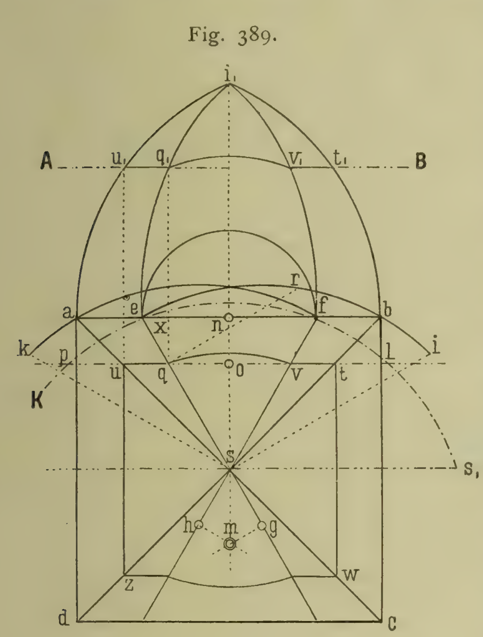
Würden dieselben Maßnahmen für eine quadratische Plananlage getroffen, so entständen auch hierbei keine Aenderungen in den grundlegenden Bestimmungen für die Ausmittelung der Gewölbflächen.

Man braucht aber auch nicht eine einzelne Gewölbkappe in ihrer Gesammtheit als Kugelkappe anzuordnen, sondern kann nur einen Theil derselben in geeigneter Lage innerhalb der Wange des Klostergewölbes als Kugelkappe einreihen.

In Fig. 389 ist diese Gestaltung für ein Klostergewölbe über einem quadratischen Raume gegeben. Das Stück esf der Wange asb soll eine Kugelkappe werden.

Die symmetrisch zur Gewölbaxe sn gelegenen Schnittlinien der Kugelkappe mit der Wange des Klostergewölbes sind in ihren Grundriss-Projectionen die geraden Linien es und fs. Die Schnittlinien selbst sollen gegebene Kreisbogen ei, bezw. fk sein, deren Mittelpunkte g, bezw. h hier in der Kämpferebene und auf den verlängerten Geraden es, bezw. fs liegen. Diese beiden Kreisbogen bestimmen eine Kugelfläche, deren Mittelpunkt m im Schnittpunkte der in g auf es und in h auf fs errichteten Lothe liegen muss. Der Halbmesser dieser Kugelfläche ist $me = mf$. Der um m mit diesem Halbmesser geschlagene Kreis K ist ein größter Kreis derselben. Die in ab aufgestellte lothrechte Ebene schneidet die Kugelfläche in einem um n mit $ne = ef$ beschriebenen Halbkreise, welcher zugleich die Stirnlinie der Kugelkappe über esf bildet. Die lothrechte Ebene in ns schneidet die Kugelfläche nach dem Kreisbogen $fs_{,}$, welcher der Scheitellinie der Kugelkappe entspricht. Die seitlich von den Schnittlinien es und fs der Kugelkappe befindlichen Gewölbstücke ase und bsf sind Wangenstücke der cylindrischen Kappe des Klostergewölbes. Da die Erzeugenden dieser Kappe gerade wagrechte Linien sind, welche parallel zu den Kämpferlinien ae, bezw. bf bleiben, so wird die Gratlinie as, bezw. bs von den Kreisbogen ei, bezw. fk abhängig gemacht; man erhält hierfür Ellipsenstücke, worin z. B. die Punkte $u_{,}$ und $t_{,}$ dieselbe lothrechte Höhe $xq_{,} = qr$ über der Kämpferebene besitzen, wie die Punkte $q_{,}$ und $v_{,}$ der Schnittlinien über es, bezw. fs. Die in op parallel zu ab stehende lothrechte Ebene schneidet die Wangenstücke ase und bsf in geraden Linien, deren wagrechte Projectionen in uq und vt, deren lothrechte Projectionen in $u_{,}q_{,}$ und $v_{,}t_{,}$ erhalten werden. Die wagrechte Projection des Schnittes dieser Ebene mit der Kugelkappe esf würde die gerade Linie qv sein, während die lothrechte Projection desselben der um n beschriebene Kreisbogen $q_{,}v_{,}$ ist. Der Halbmesser $nq_{,}$ dieses Kreisbogens ist gleich der Länge der geraden Linie op, d. h. gleich der halben Länge der Sehne pl des größten Kreises K in der Spur op jener Ebene. Eine durch die Punkte $u_{,}t_{,}$ gelegte wagrechte Ebene AB schneidet die Laibungsflächen des Wölbsystems in der Grundrissprojection im Linienzuge $uqvtwz$, wovon z. B. der Kreisbogen qv wiederum, als zur Kugelkappe gehörend auf der Kugelfläche liegt, deren Mittelpunkt m ist. Derselbe ist ein Theil eines Parallelkreises dieser Kugelfläche. Sein Halbmesser ist $mq = mv$. Die geradlinigen Theile des bezeichneten Linienzuges sind Erzeugende der ihnen zukommenden cylindrischen Flächen des eigentlichen Klostergewölbes.

Fig. 389.



Nach diesen Grundlagen können auch bei einem Haubengewölbe Kugelkappen mit Wangen des eigentlichen Klostergewölbes abwechselnd in Verbindung gebracht werden. Die hierfür erforderliche Ausmittelung der Gewölbflächen ist ohne Weiteres aus Fig. 390 zu entnehmen.

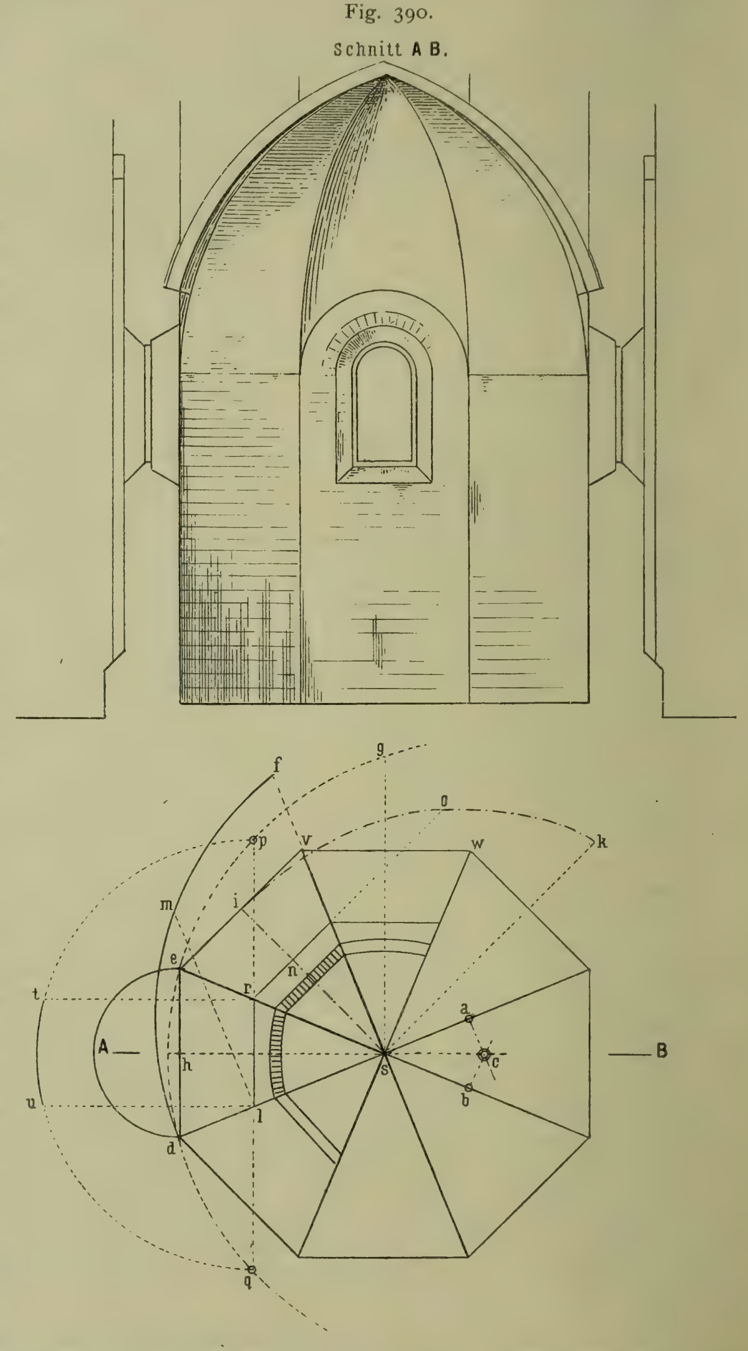
Sollen in einer Wange der hier betrachteten Gewölbe mehrere neben einander liegende Kugelkappen zur weiteren Gliederung der Wangenfläche angebracht werden, so tritt nur eine wiederholte Anwendung des angegebenen Verfahrens ein.

In Fig. 391 sind für die Wange asb eines Klostergewölbes drei Kugelkappen eingeschaltet, deren

Schnittlinien in der Grundrifsprojection die vom Scheitelpunkte *s* auslaufenden Geraden *se*, *sh* u. f. f. find, deren wirkliche Form aber beftimmten Kreisbogen entfpricht, welche von *e*, *h* u. f. f. auffteigen und fämmtlich einen einzigen gemeinfchaftlichen Schnittpunkt befitzen, und zwar hier den Scheitel des ganzen Gewölbes.

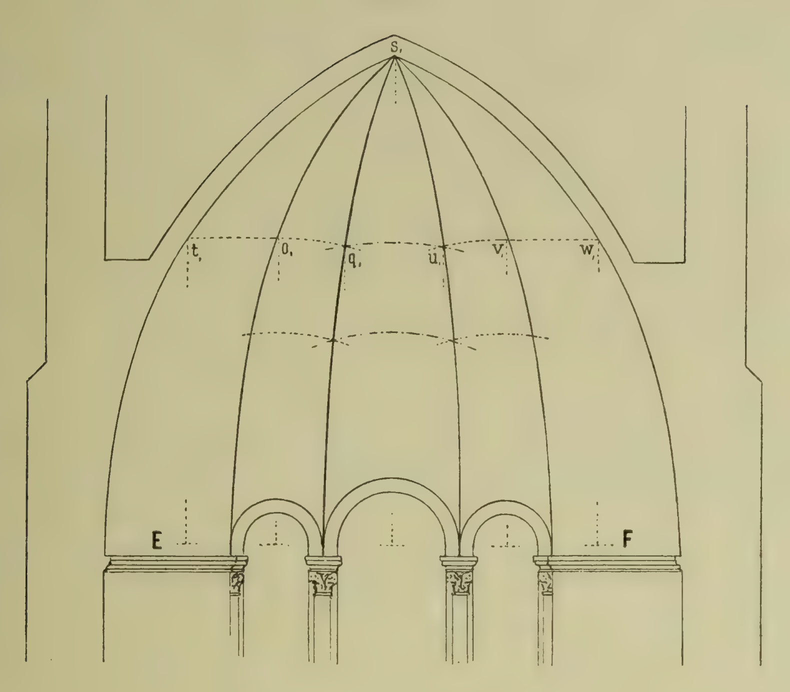
Wenngleich vorweg einer diefer Bogen mit feinem in der Kämpferebene und auf der unter Umftänden weit über *s* hinaus zu verlängernden Geraden *es*, bezw. *hs* gelegenen Mittelpunkte beliebig gewählt werden kann, fo empfiehlt es fich doch zur Feftlegung der Höhe des Scheitels und der Entwickelung der allgemeinen Form des Gewölbes, zuerft einen Verfuchskreisbogen *ac* in der lothrechten Ebene einer Gratlinie anzunehmen, um danach weiter auch ein fchickliches Auffteigen der Gewölbflächen beurtheilen zu können. Selbftverftändlich gilt diefer Kreisbogen nicht als wirkliche Gratlinie; denn diefe mufs von dem zunächft liegenden Kreisbogen der Kugelkappe abhängig werden, alfo fpäter fich als Ellipfenftück feft legen laffen.

Fig. 390.



Hiernach fei *sc* die Scheitelhöhe des Gewölbes. Um den Kreisbogen der Schnittlinie für *es* zu beftimmen, ift in *s* auf *es* das Loth *sf* errichtet und $sf = sc$ genommen. Das in der Mitte der hier nicht gezeichneten Sehne *ef* des gefuchten Kreisbogens errichtete Loth trifft die verlängerte Gerade *es* im Mittelpunkte *g* des nun zu fchlagenden Kreisbogens *ef*. In gleicher Weife ift der Kreisbogen *hi* der Schnittlinie über *hs* mit dem Mittelpunkte *k* beftimmt. Beide Kreisbogen befitzen nun in Wirklichkeit den Scheitelpunkt des Gewölbes als einen gemeinfchaftlichen Schnittpunkt. Die Punkte *e*, *h* und die Mittelpunkte *g*, *k* liegen in einer und derfelben Ebene, hier in der Kämpferebene *EF*. Sie gehören einer Kugelfläche an, deren Mittelpunkt *m* fich als der Schnittpunkt der Lothe ergiebt, welche in *g* auf *eg* und in *k* auf *hk* errichtet find. Der Halbmeffer diefer Kugelfläche ift $me = mh$. Befchreibt man um *m* mit diefem Halbmeffer einen Kreis *M*, fo erhält man in demfelben den gröfsten Kreis der Kugelfläche, welche die Laibungsfläche der Kappe *esh* bildet. Die in *eh* ftehende lothrechte Ebene fchneidet diefe Fläche in einem Halbkreife mit dem Durchmeffer *eh*, giebt alfo den Stirnbogen der Kugelkappe *esh*.

Fig. 391.



Für die mittlere Kugelkappe *z* entfprechen beide begrenzenden Schnittlinien demfelben Kreisbogen *hi*. Erweitert man *us* und nimmt man $sl = sk$, fo find *l* und k die Mittelpunkte der Kreisbogen, welche der Kugelfläche diefer Kappe angehören. Der Kugelmittelpunkt *n* ift der Schnittpunkt des in *l* auf *sl* errichteten Lothes mit dem vorhin gezogenen Lothe *km*. Der Kugelhalbmeffer ift *nh*, und der gröfste Kugelkreis wird *N*, wonach wiederum der Stirnbogen der Kappe *z* zu beftimmen ift. Die dritte Kugelkappe liegt zur erften über *ehs* fymmetrifch, fo dafs für diefelben neue Beftimmungen nicht zu treffen find.

Ein lothrechter Schnitt, in der Richtung *xy* geführt, trifft die Gewölbfläche in einer Schnittlinie, deren lothrechte Projection als $t_, o_, q_, w_, v_, w_,$ dargeftellt ift. Die geraden und wagrechten Linien $t_, o_,$ und $v_, w_,$ gehören Erzeugenden der Wangentheile des Kloftergewölbes an. Ihr lothrechter Abftand von der Kämpferebene *EF* ift $op = qr$, während offenbar die Stücke $o_, q_,$ und $v_, u_,$ Kreisbogen der Kugelfläche mit dem gröfsten Kreife *M* find. Das Loth *mo* auf *xy* dient fofort zur Beftimmung des Halbmeffers *ox* diefer Kreisbogen. Eben fo ift das Stück $q_, u_,$ ein Kreisbogen der Kugelfläche um *n*. Das Loth *nz* auf *xy* giebt im Abftande feines Fufspunktes *z* vom Schnittpunkte *y* der Ebene *xy* mit dem nunmehr geltenden gröfsten Kreife *N*, alfo in der Strecke *zy* den Halbmeffer für den Kreisbogen $q_, u_,$. Zu bemerken ift noch, dafs auch die Punkte $o_, q_, u_, v_,$ diefelbe Höhenlage $op = qr$ über der Kämpferebene haben, wie die Punkte $t_,$ und $w_,$.

Die Gratlinie über *as*, bezw. *bs* ift entweder unter Benutzung des Kreisbogens *ef* oder auch, wodurch daffelbe Ergebnifs erzielt wird, unter Verwendung des Kreisbogens *hi* durch fog. Vergatterung unter Annahme von Erzeugenden, wie z. B. $tw_,$ leicht zu beftimmen. Aufserdem find dann im Zufammenhange mit diefen Gratlinien noch die Leitlinien der übrigen Kappen des Kloftergewölbes auf bekanntem Wege feft zu legen.

Läfft man die Schnittlinien der Kugelkappen im Kloftergewölbe nicht bis zum Scheitel deffelben reichen, fo wird in den allgemeinen grundlegenden Geftaltungen, wie diefelben befprochen find, eine Aenderung nicht herbeigeführt.

Fig. 392.

In Fig. 392 ift eine folche Anlage dargeftellt. In dem Kloftergewölbe über *abcd* follen *I* kleinere Kugelkappen fein, deren höchfter Anfallspunkt $h_,$ in der Laibungsfläche tiefer liegt, als der Scheitelpunkt $s_,$ des Gewölbes. In folchen Fällen nimmt man die wagrechten Projectionen *fh* und *gh* der Schnittlinien diefer Kappen zweckmäfsig parallel zu den Grundrifsprojectionen der Gratlinien *sa* und *sb* an. Da jene Schnittlinien für die Kugelkappen in ihrer wirklichen Geftalt Kreisbogen find, fo fetzt man auch für die Gratbogen ohne Weiteres beftimmte Kreisbogen feft, wonach die Schnittlinien der Kugelkappen geradezu Theile diefer Gratbogen werden.

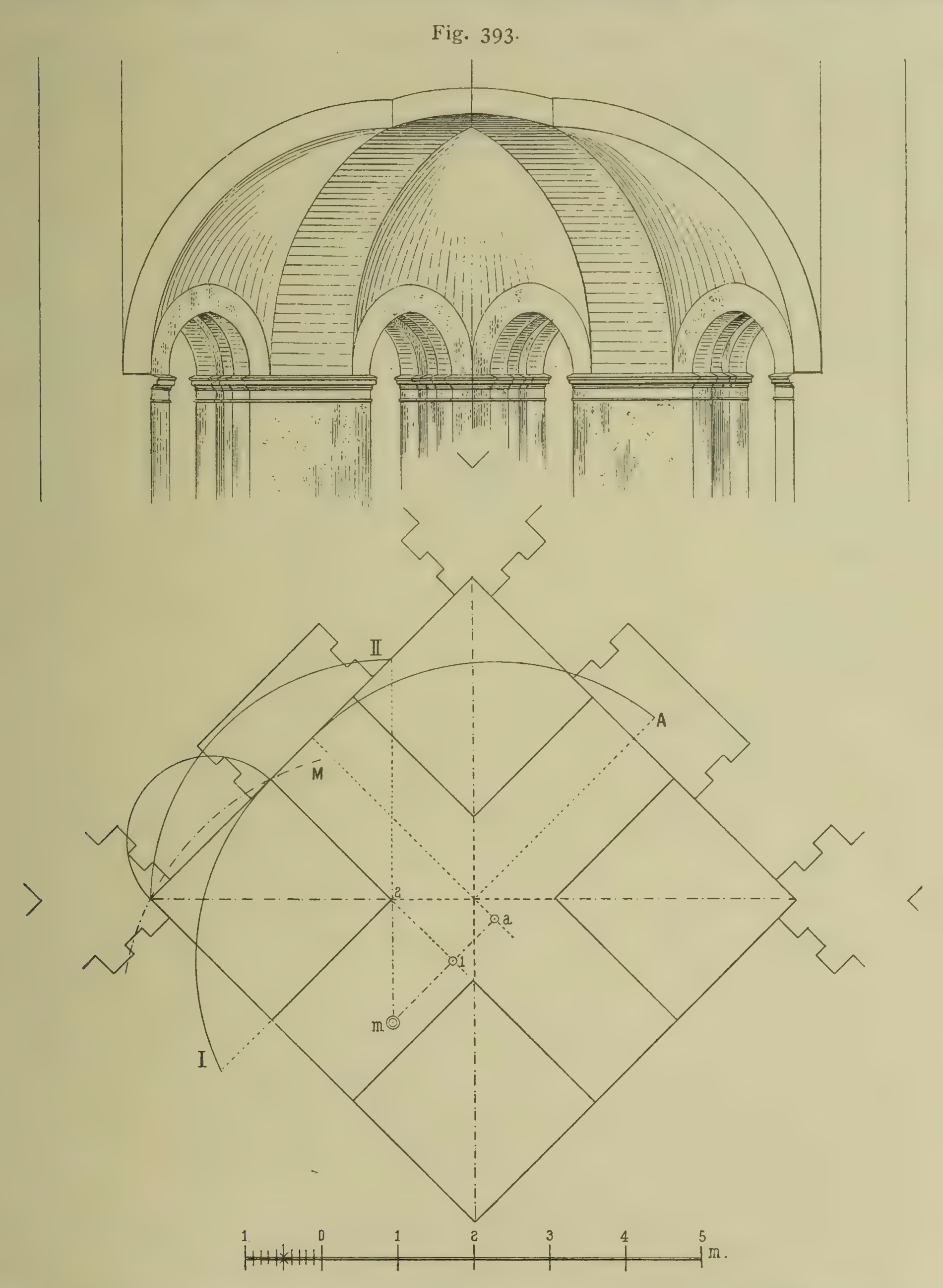
In der Zeichnung ift für die Gratlinien über *as*, bezw. *bs* ein Viertelkreis *ae* gewählt. Wird die lothrechte Ebene der Gratlinie mit fich parallel bleibend nach *fk* verfchoben, fo foll der Schnittlinie der Kugelkappe über *fh*, bezw. *gh* der Theil *ad* mit der Höhe *nd* der Gratlinie *ae* zugewiefen werden. Da *k* und *l* die Mittelpunkte diefer Kreisbogen find, welche fich über *h* fchneiden, fo liefern die in *k* auf *fk* und in *l* auf *gl* errichteten Lothe in ihrem Schnittpunkte *m* den Mittelpunkt ihrer Kugelfläche, und fomit erhält man in dem um *m* mit dem Halbmeffer *mf*, bezw. *mg* befchriebenen Kreis *M* den gröfsten Kreis diefer Kugelfläche, welcher die Kugelkappen *I* zukommen. Die Scheitellinie diefer Kugelkappen ift der Kreisbogen *fo*, alfo gleichfalls ein Theil eines gröfsten Kreifes wie *M*, den die lothrechte Ebene nach *mi* genommen, auf der Kugelfläche erzeugt.

Die fonft noch nöthigen Ausmittelungen für die Geftaltung der ganzen Gewölbfläche ergeben fich nach dem bereits Vorgetragenen. Bemerkt fei noch, dafs die in *qu* aufgeftellte lothrechte Ebene eine

Schnittlinie mit der Aufrifsprojection *q, r, t u*, giebt, während eine wagrechte Ebene, durch *q, u*, gelegt, die in der Grundrifsprojection gezeichnete Schnittlinie *v q r t u* liefert. Das Feftlegen derartiger Schnittlinien ift ohne Weiteres aus der Zeichnung erfichtlich.

Sollen, wie in Fig. 393, zwei benachbarte Kugelkappen an jeder Ecke eines mit einem Kloftergewölbe überdeckten Raumes angebracht werden, wonach alsdann

Fig. 393.



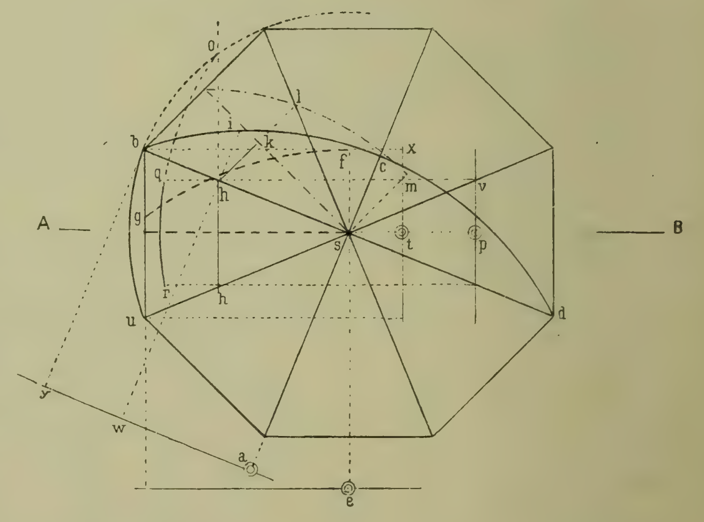
einzelne fich kreuzende verhältnifsmäfsig fchmale Theile des eigentlichen Kloftergewölbes übrig bleiben, fo ift die Geftaltung der Gewölbfläche nach den angegebenen Regeln und nach den aus der Zeichnung leicht zu erkennenden Ausmittelungen zu befchaffen. Aehnliche Gewölbanordnungen finden fich bei Bauwerken, welche im Zopf-, bezw. im fog. Jefuitenftil errichtet find.

208. Flache Klostergewölbe.

Ist die Ausgangs-Leitlinie der Wangen eines Klostergewölbes eine gesetzmäßig krumme Linie von nur geringer Pfeilhöhe, so entsteht ein sog. **flaches** oder **flachbogiges** Klostergewölbe. Der Scheitelpunkt desselben liegt in mäßiger Entfernung über der wagrechten Kämpferebene. In der Regel wird für die erwähnte Ausgangs-Leitlinie ein flacher Kreisbogen gewählt, oder es wird auch eine Ausgangs-Gratlinie als flacher Kreisbogen angenommen und danach die Leitlinie jeder Wange als flaches Ellipsenstück entwickelt. Die Grundsätze, welche für die Gestaltung des gewöhnlichen Klostergewölbes maßgebend sind, bleiben auch für das flache Klostergewölbe bestehen. Das Einfügen von Kugelkappen in flache Klostergewölbe ist ebenfalls zulässig und für eine weitere Gliederung der Gewölbfläche an sich oft von Vortheil.

In Fig. 394 ist ein flaches Klostergewölbe in Verbindung mit Kugelkappen über einem regelmäßigen Achteck gegeben.

Fig. 394.



Die über bs, bezw. ds gewählte Ausgangs-Gratlinie ist der um a mit dem Halbmesser $ab = ad$ beschriebene Kreisbogen mit der Pfeilhöhe sc. Die Leitlinie der Wange k des Klostergewölbes ist ein Ellipsenstück, für welches z. B. ein Punkt l in bekannter Weise durch das Loth kl auf sk gleich dem Lothe hi auf sb für eine Erzeugende hl bestimmt ist.

Das Festlegen der Kugelfläche für eine zwischen zwei Wangen des Klostergewölbes eingefügte Kugelkappe, z. B. für bsu, kann in der folgenden Weise bewirkt werden.

Der Mittelpunkt a der Ausgangs-Gratlinie bc liegt lothrecht unter dem Scheitelpunkte des Gewölbes in einem Abstande sa von der wagrechten Kämpferebene entfernt. Diese Gratlinie gehört einem größten Kugelkreise an, dessen Halbmesser ac ist, so dass hierdurch die Kugelfläche bestimmt wird.

Der um a mit dem Halbmesser sb beschriebene Kreis bo, welcher durch die Ecken des Raumes gehen würde, ist ein Parallelkreis der Kugelfläche. Derselbe liegt in der wagrechten Kämpferebene.

Um den Stirnbogen über bu für die Kugelkappe auszutragen, ist bx lothrecht zu bu gezogen und bx gleich dem vorhin erwähnten Abstande sa genommen. Dieser Abstand sa ist, wie aus der Zeichnung zu ersehen, auch gleich dem Lothe by, welches auf der zu sb parallelen wagrechten Spur ay der Mittelpunktsebene der Kugel gefällt wurde. Zieht man xm parallel bu, so giebt das von dem Halbirungs-

punkte der Seite bu auf die erweiterte Gerade xm gefällte und durch s ziehende Loth im Punkte t den Mittelpunkt für den im Grundrifs niedergelegten Stirnbogen bu.

Nimmt man hh parallel zu bu, fo fchneidet die in hh ftehende lothrechte Ebene die Kugelfläche nach einem Kreisbogen qr mit dem Mittelpunkte p und dem Halbmeffer wi. Der Punkt p liegt im Schnittpunkte einer zur Linie hh parallelen Geraden, für welche $hv = hw = sa$ ift, mit dem erweiterten Lothe st auf bu. Würde man die Gerade hh bis zum Schnittpunkte o mit dem Parallelkreife bo der Kugelfläche verlängern, fo geht auch der entfprechend fortgeführte, um p befchriebene Kreis rq durch diefen Punkt o.

Die Scheitellinie der Kugelkappe bsu ift der um e mit dem Halbmeffer $ef = ac$ befchriebene Kreisbogen gf. Der Punkt e liegt offenbar auf dem Lothe se zu sp im Abftande $se = sa$.

Läfft man auf eine Kloftergewölbwange ftets der Reihe nach eine Kugelkappe folgen, fo ergiebt fich eine Gewölbanordnung, welche im Schnitte AB noch näher verdeutlicht ift.

Wollte man auch bei einem flachbogigen Kloftergewölbe mit Kugelkappen die letzteren nicht bis zum Scheitel des Gewölbes reichen laffen, fo ift in der Grundlage für folche Anordnung nach dem in Art. 207 (S. 213) Gefagten zu verfahren. Hierbei ift nur, wie bei Fig. 394 foeben gezeigt, immer der Abftand des Kugelmittelpunktes von der wagrechten Kämpferebene gehörig in Rückficht zu nehmen.

209.
Kloftergewölbe mit Abftumpfungen.

Das Beftreben, in den Umfangsmauern eines mit einem Kloftergewölbe abgefchloffenen Raumes, über die Kämpferlinie deffelben hinausgehend, Thür- oder Lichtöffnungen in thunlichft ungehinderter Weife anbringen zu können, ohne von eigentlichen Stichkappen oder von befonderen eingefügten Kugelkappen Gebrauch zu machen, hat zur Geftaltung von Kloftergewölben geführt, deren cylindrifche Laibungsflächen von den lothrechten Ebenen der Umfangsfeiten des Raumes nicht mehr in geraden Kämpferlinien, fondern in auffteigenden Bogenlinien gefchnitten werden. Von den Kämpferlinien bleibt in der wagrechten Kämpferebene an den Ecken des Raumes nur ein Punkt übrig; die benutzten Gewölbflächen gehören gleichfam in ihrer Erweiterung einem Kloftergewölbe an, welches für einen befonderen, eingebildeten Raum, deffen Grundrifs von der Form des gegebenen Raumes abhängig gemacht wird, in feiner Geftaltung feft gelegt wurde. Aus diefem zu Hilfe genommenen Kloftergewölbe bildet man das zur Anwendung kommende Gewölbe durch Abftumpfung der Laibungsflächen des erfteren, indem man das Urfprungsgewölbe von den Umfangsfeiten des gegebenen Raumes fchneiden läfft und die fo entftandenen Schnittlinien als Stirnlinien für das eigentliche Gewölbe verwendet.

Unter Beibehaltung diefer Grundentwickelung laffen fich die »Kloftergewölbe mit Abftumpfungen« oder die »offenen Kloftergewölbe« in mannigfachfter, in architektonifcher Beziehung auch günftiger und anfprechender Weife ausbilden. Ueber einem dreieckigen Raume ift z. B. eine zu diefer Gruppe von Gewölben gehörige Deckenconftruction des Sanctuariums der *Nôtre-Dame*-Kirche in Paris ausgeführt [176]).

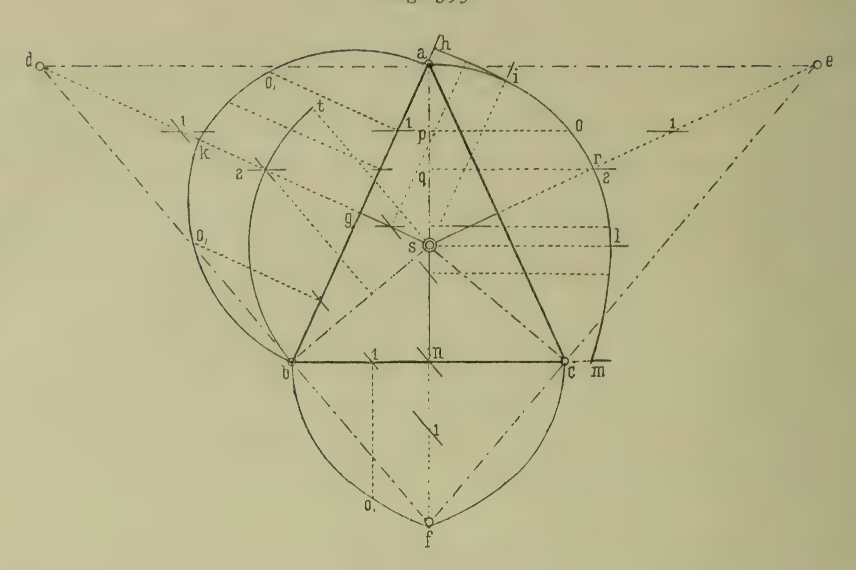
Zunächft möge die Erzeugung eines Kloftergewölbes mit Abftumpfungen auch hier unter Benutzung eines dreieckigen Raumes gezeigt werden.

Das Dreieck abc (Fig. 395) fei die gegebene Grundrifsform. Vom Schwerpunkt s deffelben gehen nach den Ecken a, b, c des Dreieckes die wagrechten Projectionen der Leitlinien des eigentlichen zu erzeugenden Kloftergewölbes. Zieht man von s die gehörig erweiterten Lothe sd, se, sf, fo läfft fich dem Dreiecke abc das Dreieck def umfchreiben. Betrachtet man diefes Dreieck def als Grundrifs eines

---

176) Siehe: VIOLLET-LE-DUC. *Dictionnaire raifonné de l'architecture françaife etc.* Band 9. Paris 1868. S. 512.

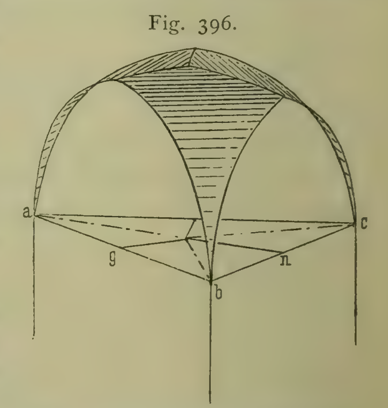
Fig. 395.



Kloftergewölbes, aus welchem durch Abftumpfung nach den fchneidenden lothrechten Ebenen *ab*, *bc*, *ca* das wirkliche Kloftergewölbe über *abc* entftehen foll, fo find *sd*, *se*, *sf* die wagrechten Projectionen der Gratlinien diefes Hilfsgewölbes und *dse*, *esf*, *fsd* die Grundrifsprojectionen der cylindrifchen Wangen deffelben. Setzt man für eine Wange, z. B. für *fsd*, ihre Leitlinie über *sb* als eine gefetzmäfsig gebildete krumme Linie, hier als einen Viertelkreis *bt* feft, fo können, nachdem die Ausmittelung der Gratlinien und übrigen Leitlinien ganz entfprechend derjenigen bei einem gewöhnlichen Kloftergewölbe für einen Raum *def* vorgenommen ift, die für das wirkliche Kloftergewölbe über *abc* erforderlichen Mafsnahmen getroffen werden. Mit Hilfe von Erzeugenden *11*, *22* ganz im Sinne von dem in Art. 205 (S. 305) Gefagten geführt, ergeben fich unter fteter Benutzung der Urfprungs-Leitlinie *bt* in leichter und aus der Zeichnung zu erfehender Weife die Stirnlinien *akb*, *bfc* u. f. f. als Ellipfenftücke, welche fpitzbogenartig zufammentreffen; eben fo z. B. die Leitlinie *aol* über *as* der Kappe *asc* und endlich die Scheitellinien der einzelnen Kappen wie *hi* über *gs*, *lm* über *sn* u. f. f., welche offenbar Theile der Gratlinien des Kloftergewölbes über dem Ergänzungsraume *def* find.

Wie das Bild in Fig. 396 ergiebt, find durch ein derart gefchaffenes, abgeftumpftes Kloftergewölbe reichlich grofse Oeffnungen in den Umfangsmauern des Raumes möglich. Das Gewölbe felbft fteigt von den Ecken deffelben aus in leichter Form auf. Seine Laibungsflächen find cylindrifche Flächen, welche fich in den Scheitellinien der Kappen fchneiden.

Fig. 396.



Ift die Grundrifsfigur eines abgeftumpften oder offenen Kloftergewölbes ein regelmäfsiges Vieleck, fo erfolgt das Feftlegen der Gewölbflächen im Allgemeinen nach denfelben Grundfätzen, wie folche für das Dreieck angegeben find.

In Fig. 397 ift ein regelmäfsiges Achteck als Grundrifsprojection eines abgeftumpften Haubengewölbes angenommen. Wird diefem Grundrifs ein neues Achteck umfchrieben, fo ift z. B. das Dreieck *bsd* die Grundrifsprojection einer Gewölbwange des ergänzenden Kloftergewölbes, welches durch die in *az* geführte lothrechte Ebene des gegebenen Grundriffes abgeftumpft wird.

Die über *sz* oder, da *sz* gleich *sa* ift, auch über *sa* ftehende Leitlinie einer derartigen mafsgebenden Wange fei der beliebig gewählte, in *a* beginnende Kreisbogen *k*.

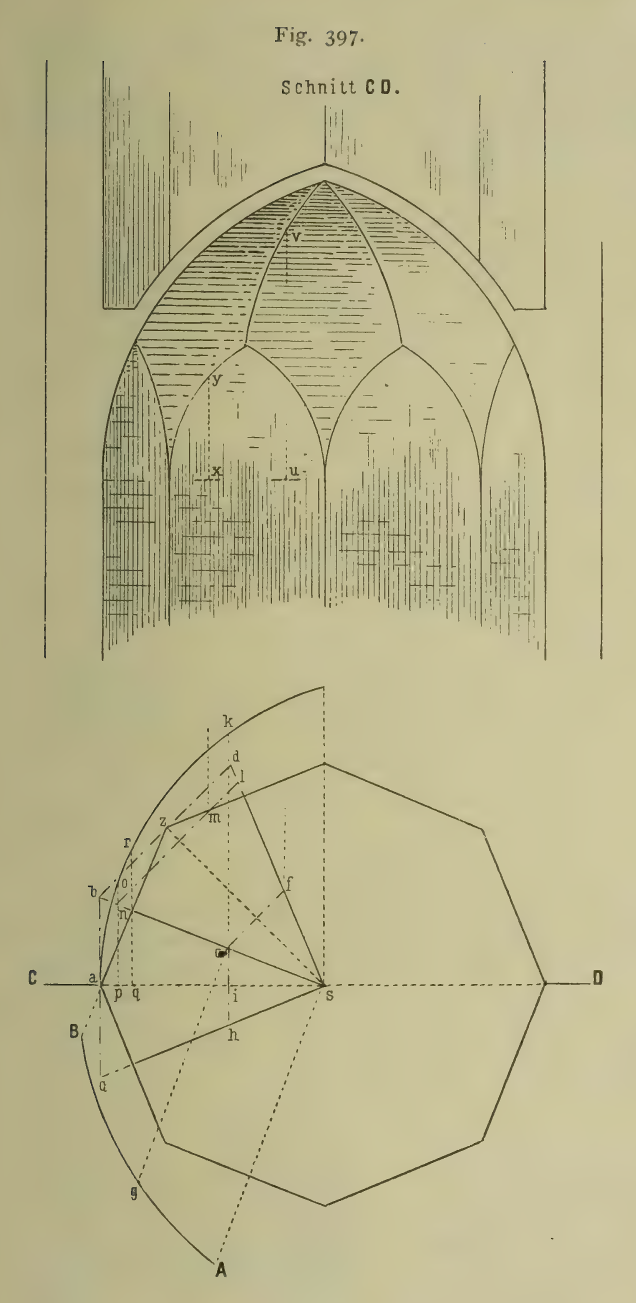


Fig. 397.

Nach demfelben laffen fich ohne Weiteres die Gratlinien, z. B. über sn als AB, und ferner die hier elliptifchen Spitzbogen entfprechenden Formen der Stirnbogen in bekannter Weife ermitteln, fo weit diefelben für das wirkliche Klofter-, bezw. Haubengewölbe nothwendig werden. Wie aus der Zeichnung zu entnehmen, ift im Schnitte CD das Loth $uv = ik = cg$, ferner $xy = po$, während der Scheitel der Stirnbogen in einer Höhe gleich qr über der wagrechten Kämpferebene liegen mufs. Die Laibungen des Haubengewölbes gehören hier durchweg cylindrifchen Flächen an, deren Leitlinien durch einen und denfelben Grundbogen k beftimmt find.

Liegen mehrere gleiche Raumabtheilungen neben einander, welche durch Säulen- oder Pfeilerftellungen mit unter fich verbundenen Gurtbogen einem Gefammtraume angehören, fo find für jede Abtheilung gleichfalls offene Klostergewölbe ohne Schwierigkeit herzurichten. Solche in Gewölbjochen neben einander liegende, offene oder abgeftumpfte Kloftergewölbe zeigen in ihrer Gefammtheit grofse Aehnlichkeit mit den fpäter noch zu erwähnenden Trichtergewölben.

Verbindet man bei einem Kloftergewölbe abgeftumpfte Wangen mit Wölbflächen nicht abgeftumpfter Wangen, fo entfpringt wiederum eine befondere Geftaltung für eine maffive Decke. Fig. 398 zeigt die Anordnung derfelben als umgeftaltetes, flachbogiges Kloftergewölbe für einen rechteckigen Raum.

Zieht man von der wagrechten Projection s des Scheitels des Gewölbes in gefetzmäfsiger Folge und Anordnung gerade Linien wie se, sf u. f. f., fo können diefelben als die Grundrifsprojectionen von Gratlinien des zu fchaffenden Gewölbes angenommen werden. Behandelt man nun die Stücke, welche dem Theile $seaf$ entfprechen, als abgeftumpfte Kloftergewölbe, während die antretenden Theile wie t, i, v u. f. f. als gewöhnliche Kloftergewölbwangen mit wagrechter Kämpferlinie beftehen bleiben, fo erhält man das bezeichnete Gewölbe.

Nimmt man ef als wagrechte Projection einer Erzeugenden der Wange über $afse$ an, zieht darauf cd parallel zu ef, damit das Dreieck csd entfteht, fo gilt diefes als Grundrifs für das ergänzende Kloftergewölbe jener Wange. Die Leitlinie ift der über as liegende, um m befchriebene flache Kreisbogen ab.

Nach diefem Grundbogen ergiebt fich unter Anwendung der wagrechten Projectionen zugehöriger Erzeugenden wie ef und fp; i, n und k; q und t fofort die Leitlinie der Wange t als elliptifcher Bogen pv.

Für denſelben iſt $op = gh$, $tu = qr$ und $sv = sb$. Auf gleichem Wege ſind, wie Fig. 398 kenntlich macht, auch die Gratlinien über fs u. ſ. w., bezw. die Schnittlinien über af, bezw. ae u. ſ. f. und endlich auch Punkte wie i, der Leitlinie der Wange i zu finden. Die Kämpferlinien der gewöhnlichen Kloſtergewölbwangen i, t u. ſ. f. liegen ſämmtlich in einer wagrechten Ebene, während die Kämpferpunkte der abgeſtumpften Wangen um eine Höhe gh unter derſelben auftreten.

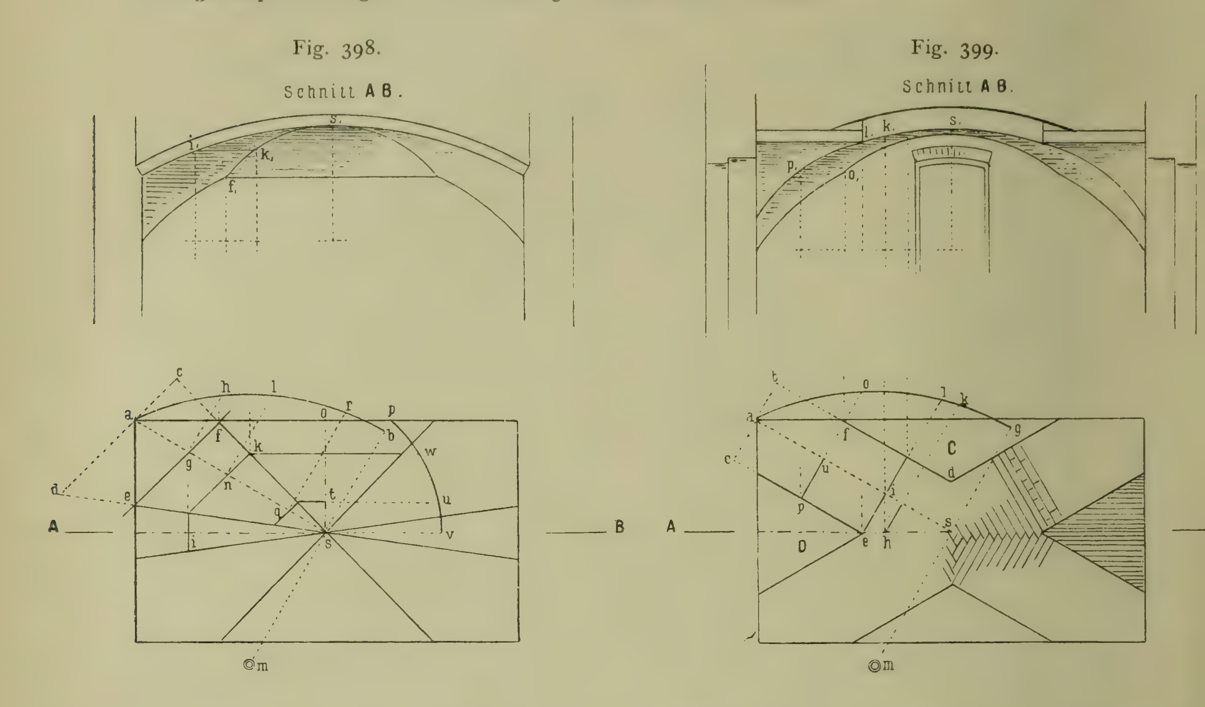


Fig. 398. Fig. 399.

Wünſcht man abgeſtumpfte Kloſtergewölbe ſtatt mit gewöhnlichen Wangentheilen mit Stichkappen zu verbinden, ſo kann eine ſolche Anordnung nach Anleitung von Fig. 399 wie bei C, D u. ſ. f. erfolgen. Beachtet man dabei noch das in Art. 133 (S. 164) für das Tonnengewölbe mit Stichkappen Geſagte, ſo geht beim Verfolgen der Zeichnung alles Nöthige für die Darſtellung derartiger Gewölbanlagen hervor.

Fig. 400.

210.
Eck-
überführungen
etc.

Sind Kloſtergewölbe, wie ſchon früher bemerkt, im Allgemeinen am vortheilhafteſten über regelmäſsig geſtalteten Grundriſſen herzuſtellen, ſo laſſen ſich unter Beobachtung der für die Geſtaltung von ſolchen Gewölben überhaupt gegebenen Entwickelungen auch bei dieſen oder jenen gewählten Umformungen ſelbſt Räume mit unregelmäſsig angelegtem Grundriſs ohne erhebliche Hinderniſſe mit derartigen Decken verſehen. Bei durchdachtem Zuſammenfügen der einzelnen Wangen oder Kappen derſelben kann ſelbſt eine ſolche Decke in angenehmer Weiſe in die Erſcheinung treten.

Iſt die Grundriſsform ein regelmäſsiges Vieleck von n Seiten und ſoll für dieſelbe ein Kloſtergewölbe mit $2n$-Wangen angelegt werden, ſo iſt

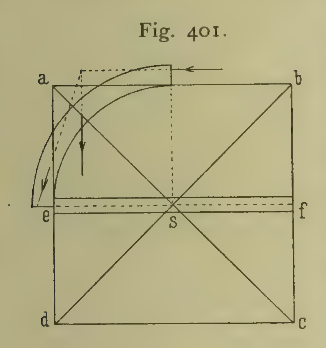
für die Kämpferlinien dieses Gewölbes dem gegebenen *n*-Eck ein 2 *n*-Eck einzuschreiben. In solchem Falle haben *n* Seiten des eingeschriebenen Vieleckes ohne Weiteres keine unmittelbare Unterstützung durch lothrecht aufgeführte Umfangs-, bezw. Widerlagsmauern. Dieselben sind alsdann, wie Fig. 400 bei einer Wange *A* zeigt, durch Tragsteine oder Ueberkragungen zu schaffen. Statt dieser Ueberkragungen können auch in besserer und oft in wirkungsvollerer Weise besondere kleine Gewölbe als sog. Eck- oder Nischengewölbe, wovon bei der Ausführung der Klostergewölbe (unter 3) noch weiter gesprochen werden soll, in Anwendung kommen.

2) Stärke der Klostergewölbe und ihrer Widerlager.

211. Gewölbstärke.

Beim einfachen Klostergewölbe sind die Gewölbwangen Theile eines Tonnengewölbes. Zerlegt man jede Wange in einzelne Streifen, deren Begrenzungsebenen lothrecht und parallel zur Ebene der Scheitellinie der cylindrischen Wölbkappen geführt sind, so könnte jeder Streifen für sich als ein Theil eines Tonnengewölbes betrachtet und dem entsprechend statisch untersucht werden. Der Elementarstreifen *se*, bezw. *sf* (Fig. 401), dessen lothrechte Kräfteebene die Scheitellinien der zugehörigen Gewölbwangen enthält, ist offenbar ein Hauptstreifen, in welchem der gröfste Gewölbschub herrscht, während in allen Nachbarstreifen, wenn von einer unzweckmäfsigen oder übertriebenen Ueberlastung abgesehen wird, ein kleinerer Gewölbschub auftreten mufs.

Fig. 401.

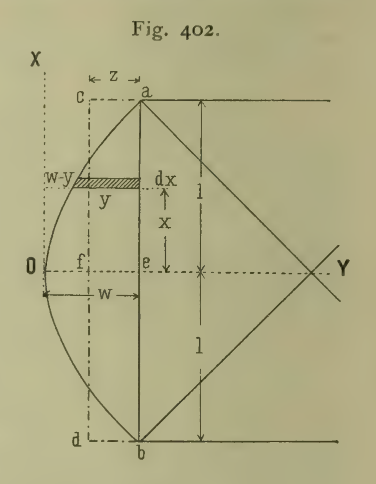


Bestimmt man die Stabilität und die Stärke des Hauptstreifens unter der üblichen Annahme, dafs die Breite desselben gleich einer Längeneinheit sei, ganz nach den für die Bestimmung der Stärke der Tonnengewölbe in Kap. 9 (unter b) gegebenen Entwickelungen, so giebt man aus praktischen Gründen den sämmtlichen Wölbstreifen der betreffenden Wange die gefundene Stärke. Würden bei einem Klostergewölbe über rechteckigen, vieleckigen oder auch über unregelmäfsigen Räumen sich solche Hauptstreifen von verschiedener Spannweite ergeben, so wird im Allgemeinen für das ganze Gewölbe diejenige Stärke beibehalten, welche der gröfste Hauptstreifen beansprucht. Die auf Kuf gemauert gedachten Gewölbwangen legen sich über ihren Gratlinien gegen einander. Ihr Gewölbschub fliefst in dem Gewölbkörper bis zum Widerlager fort, ohne dafs die Ebene der Grate dadurch mit Gewichten belastet wird. Tritt an die Stelle dieser Ebene ein selbständiger Gratbogenkörper, was zuweilen der Fall, aber nicht durchaus nöthig ist, so bildet derselbe für sich ein besonderes Tonnengewölbe, nur beeinflufst durch sein Eigengewicht, bezw. durch seine etwa vorhandene Ueberlast. Hiernach würde also die Stärke solcher Gratbogen eben so zu berechnen sein, wie bei einem derart angeordneten, frei stehenden Tonnengewölbe. Werden die Gewölbwangen auf Schwalbenschwanzverband ausgeführt, so entsprechen die Stabilitätsuntersuchungen der dann entstehenden Elementarstreifen dem in Art. 181 (S. 277) Vorgetragenen. Auch bei diesem Verbande, welcher wohl bei flachen Klostergewölben, seltener oder gar nicht bei Gewölben mit entsprechend grofser Pfeilhöhe in Anwendung kommt, können die Schichten entweder stumpf in der Ebene der Grate zusammenstofsen oder besser über der Gratlinie auf Stich gegen einander treten.

212. Widerlagsſtärke.

Da die Gewölbſtreifen, ſelbſt wenn dieſelben, wie es der Fall iſt, ſämmtlich eine gleiche Stärke erhalten, vermöge ihrer verſchieden groſsen Spannweite, welche von Null bis zur Weite eines Hauptſtreifens in einer Gewölbkappe wächſt, auf ihr Widerlager einen verſchieden groſsen Druck ausüben, ſo folgt, daſs die ſonſt ganz im Sinne des in Art. 143 (S. 197) geführte Beſtimmung der Widerlagsſtärke für jeden Elementarſtreifen ein anderes Maſs ergeben wird. Dieſes Maſs würde gleichfalls von Null bis zur gröſsten Widerlagsſtärke, welche der Hauptſtreifen der zugehörigen Kappe nöthig macht, zunehmen. Trägt man die den einzelnen Streifen zukommenden Widerlagsſtärken als Ordinaten der äuſseren Begrenzungslinie des betreffenden Widerlagers auf, ſo erhält man eine krumme Linie und danach eine beſtimmte Grundfläche des Widerlagskörpers. Für die praktiſche Ausführung eignet ſich jedoch ein ſolches Widerlager nicht. Statt deſſelben iſt beſſer ein Widerlagskörper mit rechteckiger Grundfläche anzuordnen. Derſelbe muſs aber das gleiche Maſs der Stabilität beſitzen, wie das theoretiſch ermittelte, nach auſsen krummlinig begrenzte Widerlager.

Fig. 402.



Die krumme Linie aOb in Fig. 402, welche als äuſsere Begrenzung des Widerlagers einer Gewölbkappe gefunden iſt, kann mit hinreichender Genauigkeit als eine Parabel mit dem Scheitel in O angeſehen werden. Der Hauptſtreifen möge die Widerlagsſtärke w erfordern, ſo daſs w die Pfeilhöhe jener Parabel iſt. Dieſe Linie w ſcheidet die Parabelfläche in zwei gleiche, ſymmetriſch liegende Theile. Das Rechteck $abcd$, bezw. die Hälfte deſſelben $aefc$ ſoll dieſelbe Stabilität beſitzen, wie die Parabelfläche abO, bezw. wie die Hälfte aeO derſelben.

Die noch unbekannte Breite dieſer Rechtecksfläche ſei z. Unter Benutzung der Bezeichnungen in Fig. 402 erhält man zunächſt das Stabilitätsmoment $\mathfrak{M}$ der Fläche $aefc$ in Bezug auf die Drehkante fc als

$$\mathfrak{M} = lz\frac{z}{2} = \frac{l}{2}z^2 \quad \ldots \quad 222.$$

Für einen Elementarſtreifen von der Breite y und der Länge dx im Abſtande x von der Linie w der Parabelfläche aeO iſt das Stabilitätsmoment $d\mathfrak{M}_{,}$ in Bezug auf die Auſsenkante

$$d\mathfrak{M}_{,} = y \,.\, dx\frac{y}{2} = \frac{y^2}{2}dx,$$

woraus durch Integration das Stabilitätsmoment $\mathfrak{M}_{,}$ der Parabelfläche aeO folgt als

$$\mathfrak{M}_{,} = \frac{1}{2}\int_{x=o}^{x=l} y^2 \,.\, dx \quad \ldots \quad 223.$$

Nun iſt aber für die Parabel Oa, deren Axe mit der Geraden w zuſammenfällt,

$$\frac{w-y}{w} = \frac{x^2}{l^2}, \text{ d. h. } y = \frac{w}{l^2}(l^2 - x^2).$$

Setzt man dieſen Werth in Gleichung 223, ſo ergiebt ſich

$$\mathfrak{M}_{,} = \frac{w^2}{2l^4}\int_{x=o}^{x=l}(l^2 - x^2)^2\,dx \quad \ldots \quad 224.$$

Da nun $\mathfrak{M} = \mathfrak{M}_{,}$ ſein ſoll, ſo wird den Gleichungen 222 u. 224 zufolge

$$z^2 = \frac{w^2}{l^5}\int_{x=o}^{x=l}(l^2 - x^2)^2\,dx,$$

woraus nach Ausführung der Integration

$$z^2 = \frac{8}{15} w^2$$

oder fchliefslich

$$z = w \sqrt{\frac{8}{15}} = 0{,}7303\, w \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 225.$$

zu beftimmen ift.

Hiernach erfcheint die Breite z nahezu gleich $\frac{3}{4} w$, d. h. die Stärke des Widerlagers eines Kloftergewölbes beträgt etwa drei Viertel der Stärke des Widerlagers eines Tonnengewölbes von gleicher Leitlinie, Gewölbftärke und Belaftung, wie daffelbe durch den Hauptftreifen in der Gewölbwange gegeben ift. Daffelbe Ergebnifs ift bereits von *Rondelet* durch Verfuche an Modellen feft geftellt.

Treten bei Kloftergewölben Vereinigungen cylindrifcher Wangen mit Kugelkappen auf, fo find letztere einer befonderen Stabilitäts-Unterfuchung zu unterziehen. Wie der Weg zur Prüfung derartiger Kappen einzufchlagen ift, wird fpäter bei der Befprechung der Stärke der Kuppelgewölbe erörtert werden.

213. Empirifche Regeln für die Gewölbftärke.

Da die Wangen eines Kloftergewölbes einem Tonnengewölbe angehören, fo laffen fich die in Art. 140 (S. 193) für das Tonnengewölbe angegebenen empirifchen Regeln auch für das Kloftergewölbe im Allgemeinen verwenden. Als mafsgebendes Gewölbftück ift der Hauptftreifen, deffen lothrechte Ebene die Scheitellinie der am weiteften gefpannten Gewölbwangen enthält, in Betracht zu ziehen und die hierfür empirifch ermittelte Gewölbftärke in der Regel für die Stärke fämmtlicher Wangen entweder ohne Weiteres oder unter befonderen Verhältniffen nur als Anhalt für eine ftrengere ftatifche Unterfuchung zu Grunde zu legen.

214. Empirifche Regeln für die Widerlagsftärke.

Ift für den erwähnten Hauptftreifen, bezw. für die Hauptftreifen jeder einzelnen Wange nach den in Art. 145 (S. 208) für Tonnengewölbe mitgetheilten empirifchen Regeln die Widerlagsftärke berechnet, fo werden für die mit rechteckiger Grundfläche angeordnete Widerlagsmauer der zugeordneten Gewölbwange drei Viertel diefer Stärke angenommen. Bei quadratifchen Räumen mit einer Seitenabmeffung bis zu 6 m kann die Stärke der Widerlagsmauern bei forgfältiger Ausführung bis auf zwei Drittel der Widerlagsftärke eines dem Hauptftreifen gleichen Tonnengewölbes herabgefetzt werden.

Kloftergewölbe mit grofser Pfeilhöhe, befonders die Haubengewölbe, erhalten, abgefehen von etwaigen Ausmauerungen der Zwickel über befonders angelegten Gratbogen, in den meiften Fällen keine befondere Ueberlaft, weder durch darauf ruhende Balkenlagen, noch durch hierauf angebrachte Fufsböden. Flache Kloftergewölbe dagegen können ähnliche Belaftungen, wie Kappengewölbe, erfahren. Alsdann find nach den in Art. 177 (S. 264) gemachten Angaben die Abmeffungen der Widerlagsftärken bei diefen Kloftergewölben am beften ohne Herabminderung gleich folchen bei Kappengewölben zu wählen.

3) Ausführung der Kloftergewölbe.

215. Allgemeines.

Die Geftaltung der Kloftergewölbe weist fchon darauf hin, dafs diefelben, als vorzugsweife in ihren Wangen von Tonnengewölben herrührend, auch in ihrer Ausführung fich nach derjenigen der Tonnengewölbe zu richten haben. Sämmtliche Hauptregeln, welche in diefer Beziehung in Kap. 9 (unter c) für das Tonnengewölbe gegeben find, behalten auch für das Kloftergewölbe ihre Geltung. Aus-

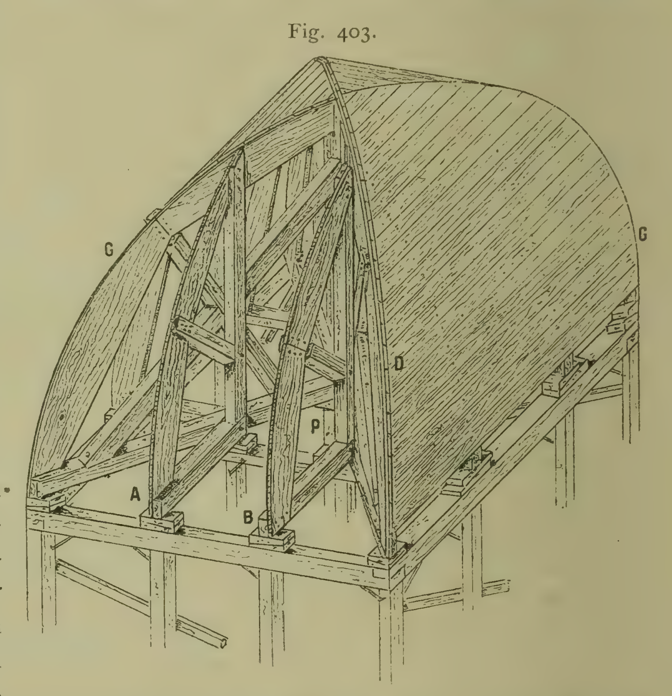
nahmen hiervon treten nur bei den in die Klostergewölbkörper eingefügten Kugelkappen ein. Solche Kappen unterliegen im Allgemeinen der Ausführungsweise von Kuppelgewölben, worüber später entsprechende Mittheilungen gemacht werden sollen.

Die Hauptbaustoffe für Klostergewölbe sind wiederum Backstein, Quader oder dünnschichtige, lagerhafte Bruchsteine, guter Kalkmörtel, verlängerter Cementmörtel oder Cementmörtel allein, und das hierüber beim Tonnengewölbe in Art. 150 (S. 218) Gesagte ist bei Klostergewölben gleichfalls zu beachten.

216.
Lehrgerüste.

Das gewöhnliche Klostergewölbe wird auf einer Unterschalung, welche auf dem Lehrgerüste ruht, ausgeführt. Die Lehrbogen dieses Gerüstes sind jedoch in Rücksicht auf die in den Graten zusammentreffenden Gewölbwangen in anderer Weise aufzustellen, als beim geraden Tonnengewölbe. Nach Fig. 403 sind die sog. Gratbogen oder Diagonalbogen *G*, bezw. *D* von den sog. Schift- oder Wangenbogen *A*, *B* zu unterscheiden. Die Gratbogen treten im Scheitellothe des Gewölbes kreuzförmig zusammen. Liegen die Gratlinien des Gewölbes in einer und derselben lothrechten Ebene, so folgt ein ganzer, für sich bestehender Diagonalbogen *D* dieser Ebene, während die übrigen Gratbogen *G*, ihrer Durchkreuzung mit dem Hauptlehrbogen halber, aus zwei Hälften des Hauptlehrbogens bestehen. Der Kreuzungspunkt dieser Lehrbogen ist durch einen kräftigen Pfosten oder Mäkler *P* zu unterstützen; auch ist für eine Sicherung der Mittelpfosten der eigentlichen Lehrbogen gegen Ausweichen oder Drehen durch Eisenklammern, sog. Stichklammern, zu sorgen, welche nach der Ausführung des Gewölbes wieder leicht beseitigt werden können.

Fig. 403.



Die Schiftbogen *A*, bezw. *B* legen sich vom Gewölbkämpfer aus gegen die Gratlehrbogen; ihre obere Begrenzungslinie ist nach der Ursprungs-Leitlinie, welche der Gestaltung des Klostergewölbes zu Grunde gelegt war, leicht fest zu legen. Für jede Wange ist die Zahl dieser Schiftbogen so zu bestimmen, dass die freie Länge der darüber angebrachten Schalbretter $1{,}0$ bis $1{,}5$ m beträgt. Die Auflagerung der sämmtlichen Lehrbogen an den Endpunkten ihrer Sohle oder Schwelle erfolgt in gleicher Weise, wie bei den Ausrüstungsvorrichtungen der Tonnengewölbe (siehe Art. 155, S. 224). In der Zeichnung sind Doppelkeile als Lagerungen angenommen.

Die Schalung besteht meistens aus einem Bretterbelag von 3 bis 5 cm Stärke; die einzelnen Bretter treten über den Gratbogen, nach der Gratlinie gefugt, stumpf zusammen. Ueber den Grat- und Schiftbogen findet ein Heften der Bretter mit

Drahtftiften ftatt, um auch hierdurch die unverrückbare Stellung der betreffenden Bogen in gewiffem Grade mit zu fichern.

Für flache Kloftergewölbe benutzt man zu den Gratbogen und Schiftbogen einfache Wölbfcheiben, wie folche bei Kappengewölben gebräuchlich find.

Kloftergewölbe mit Kugelkappen erhalten nur eine Schalung der Lehrgerüfte, fo weit die eigentlichen Gewölbwangen in Frage kommen. Die Kugelkappen werden dazwifchen aus freier Hand eingewölbt unter etwaiger Benutzung einer Lehre oder einzelner dünner Wölbfcheiben, deren obere Begrenzung der Kugelfläche entfprechend gefchnitten ift.

Abgeftumpfte oder offene Kloftergewölbe, deren Wangen, wie in Art. 209 (S. 315) gezeigt ift, cylindrifche Laibungsflächen befitzen, erhalten zweckmäfsig eine gefchloffene Unterfchalung.

217. Klofter-gewölbe aus Backfteinen.

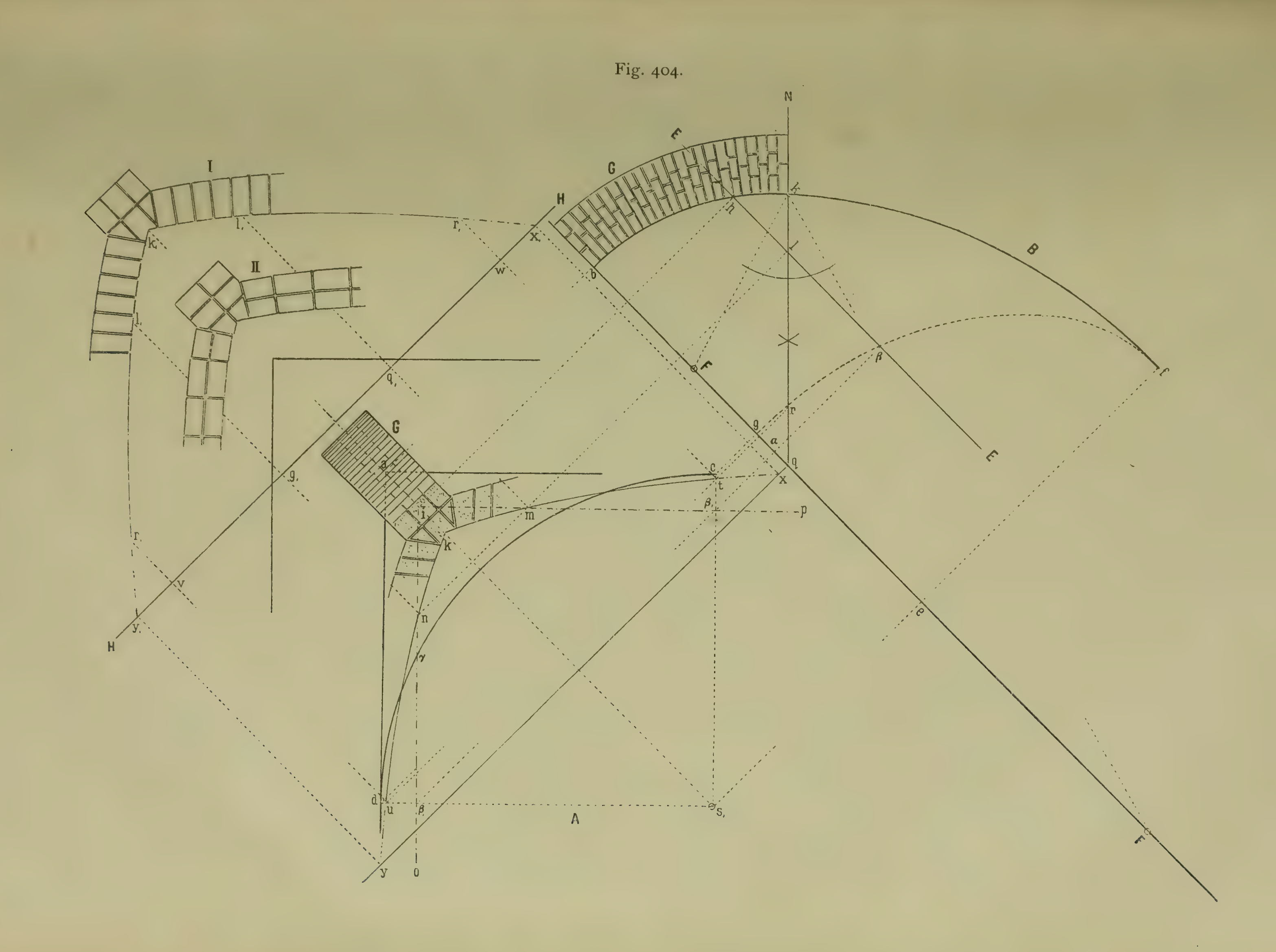
Wird für die aus Backfteinen auszuführenden Kloftergewölbe der Verband auf »Kuf« gewählt, fo laufen die Lagerfugenkanten der Lage der erzeugenden Geraden der cylindrifchen Wölbflächen gemäfs parallel mit den Kämpferlinien, fo dafs die gefammte Anordnung mit derjenigen eines Tonnengewölbes übereinftimmt. Läfft man die Gewölbwangen über den Gratlinien oder Kehlen ftumpf zufammentreten, fo zeigt fich die Kehllinie als Fuge. Soll diefe durchlaufende Fuge vermieden werden, fo läfft man die einzelnen Schichten über der Gratlinie im Verbande wechfelweife übergreifen. Hierdurch entfteht allerdings der Uebelftand, dafs die übergreifenden Ecktheile der Backfteine, welche zwei fich durchdringenden Cylinderfchalen angehören, zur Aufnahme der Kehllinie etwas zugehauen werden müffen, wenn nicht bei Gewölben, die keinen Putzüberzug erhalten follen, bei reicherer Ausführung befondere Formfteine für die übergreifenden Stücke genommen werden. Müffen über den gewöhnlichen Kloftergewölben Balkenlagen hergerichtet werden, welche innerhalb ihrer freien Länge noch einer Unterftützung durch Balkenträger bedürfen, fo ift, da diefe Träger niemals auf dem Mauerwerk der Gewölbwangen ruhen follen, für diefe Gewölbe die Ausführung felbftändiger, genügend ftarker Grate als Gratbogen erforderlich, welche dann in geeigneter Weife durch Ausmauerung ihrer Zwickel oder durch Aufmauerung einzelner Pfeiler eine Stütze, bezw. eine Auflagerung für die erwähnte Balkenlage oder deren Träger gewähren können. Diefe Gratbogen find als für fich beftehende Tonnengewölbe regelrecht auszuführen. Die Gewölbwangen fetzen fich unmittelbar ftumpf gegen diefe Grate.

Bei der Einwölbung der Wangen auf »Schwalbenfchwanz-Verband« werden die bei diefem Verbande in Art. 200 (S. 298) gegebenen allgemeinen Regeln befolgt. Zweckmäfsig wird jedoch im Befonderen den einzelnen Wölbftreifen eine folche Richtung gegeben, dafs die Lagerflächen derfelben in Normalebenen zu den Kehllinien des Gewölbes liegen, gleichgiltig, ob befondere Gratbogen zur Ausführung kommen oder nicht.

In Fig. 404 find in tmk und unk die wagrechten Projectionen der inneren Lagerfugenkanten der in k zufammentretenden Wölbftreifen für eine beliebige Normalebene N der Kehllinie bf beftimmt. Der Grundrifs des mit einem Kloftergewölbe zu überfpannenden Raumes A ift hier der Einfachheit wegen quadratifch gewählt. Die Urfprungsleitlinie oder der Grundbogen des Gewölbes ift als ein um s, befchriebener Viertelkreis cd feft gefetzt. Die Kehllinie wird demnach eine Viertelellipfe mit den Halbaxen eb, ef und den Brennpunkten F, F. Diefelbe ift in einer zur Gratebene parallelen lothrechten Ebene B gezeichnet. Durch einen beliebigen Punkt k des Gratbogens ift eine Normalebene N mit den Spuren kq und qy geführt.

Diefe Normalebene fchneidet die lothrechte Projection gf des Grundbogens cd im Punkte r, alfo in einem Grenzpunkte der nach k führenden Lagerkante eines Wölbftreifens. Die wagrechte Projection

Fig. 404.



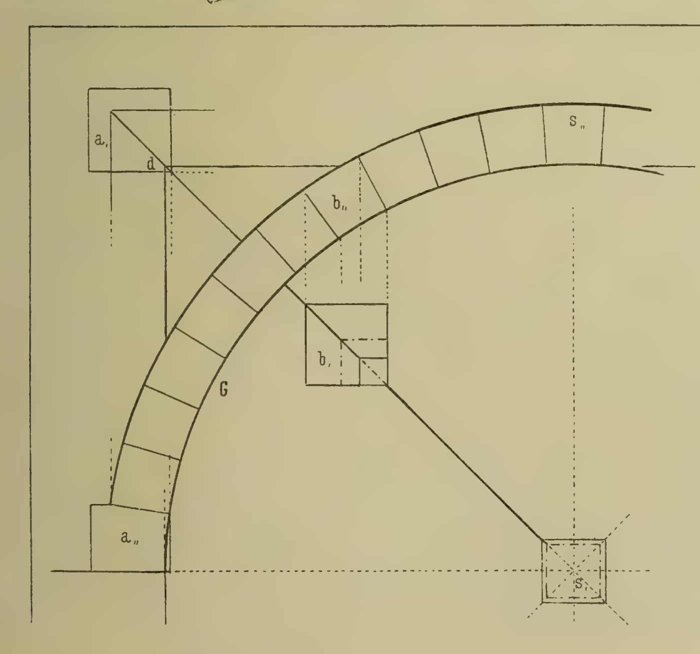
dieſes Punktes iſt der auf der Grundriſsprojection $s_, c$ der Leitlinie $c d$ gelegene Punkt t. Führt man durch die Ebene B und rechtwinkelig hierzu eine beliebige, zwiſchen den Grenzpunkten r und k gelegene wagrechte Ebene EE, ſo ſchneidet dieſelbe die Normalebene in dem durch l gehenden Lothe auf der Ebene B und die Gewölbwangen in geraden Erzeugenden derſelben, welche, wie aus der Zeichnung zu entnehmen, als $i p$, bezw. $i o$ mittels der Punkte $\beta_,$ in ihrer Grundriſsprojection leicht angegeben werden können.

Die wagrechten Projectionen m und n der Durchſtoſspunkte des in l befindlichen Lothes auf B mit den Gewölbwangen liegen auf dieſen Erzeugenden und ergeben ſich ſomit wiederum als Punkte der geſuchten wagrechten Projection der Lagerkante, welche dem Normalſchnitte N angehört.

Vervollſtändigt man nach dieſen Anleitungen die Linienzüge $t m k$, bezw. $u n k$, ſo erhält man die geſuchten Lagerfugenkanten eines Wölbſtreifens für eine Normalebene N. Wird dieſes Verfahren wiederholt für alle Wangen in Anwendung gebracht, ſo ergiebt ſich die Anordnung der Wölbſtreifen für den Schwalbenſchwanz-Verband.

Nachdem die Projectionen der Lagerkanten der inneren Wölbfläche für eine Schicht ermittelt ſind, läſſt ſich nach der Darſtellung I die wirkliche Geſtalt $x_, k_, y_,$ derſelben finden, wobei z. B. $q_, l_,$, bezw. $g_, l_,$ gleich $q l$ ſein muſs. Sollen Gratbogen eingeführt werden, ſo zeigen die beiden Schichtenanordnungen I und II den anzuwendenden Backſteinverband. Die Wölbſtreifen ſetzen ſich hierbei mit ſenkrecht zu $k_, l_,$ gerichteten Fugen an.

Fig. 405.



218. Kloſtergewölbe aus Bruchſteinen.

Dienen Bruchſteine als Wölbmaterial für Kloſtergewölbe, ſo iſt unter Beobachtung des Verbandes auf »Kuf« wie bei Backſteinmaterial zu wölben. Im Uebrigen iſt das in Art. 169 (S. 245) für Tonnengewölbe aus Bruchſteinen Vorgetragene auch hier zu berückſichtigen.

219. Kloſtergewölbe aus Quadern.

Bei Kloſtergewölben aus Quadern wird der Fugenſchnitt für die Lager- und Stoſsfugenflächen der einzelnen Wölbſteine dem Verbande auf »Kuf« zugeordnet. Die Wölbquader der Wangen ſind einfache Tonnengewölbſteine. Beſondere Geſtaltung erfordern die Anfänger an den Ecken des Gewölbes, die Gratſteine und der Schluſsſtein deſſelben.

In Fig. 405 iſt für eine quadratiſche Grundfläche der Steinfugenſchnitt für ein Kloſtergewölbe mit einem Viertelkreis G als Grundbogen gegeben. Die Ermittelungen der Begrenzungsflächen der einzelnen angeführten Steine laſſen ſich

durch einfache Anwendungen der darftellenden Geometrie bewirken. Diefelben gehen aus der Zeichnung genügend hervor.

A, gebildet nach feinen Projectionen $a_{,}$, $a_{,,}$, ift der Anfänger; *B*, ermittelt nach den Projectionen $b_{,}$, $b_{,,}$, ift ein Gratftein. Bei demfelben find fortlaufende Anfätze, welche noch weiter in die Gewölbkappe reichen würden, abfichtlich fortgelaffen und dieferhalb die Stofsfugenflächen einfach entfprechend den Lagerfugenflächen abgegrenzt, wie folche bei $b_{,,}$ durch die Theilung der Gewölbwangen entftehen. Etwa weiter in die Wangen fortgeführte Anfätze liefern einen hakenförmigen Stein von meiftens bedeutenden Abmeffungen. Bei der Bearbeitung diefer Werkftücke mufs zur Bildung des Hakens ein erheblicher Theil des Materials als überflüffig fortgenommen werden, was bei dem hier gegebenen Fugenfchnitt vermieden wird. *C* ift ein gewöhnlicher Wölbftein der Wange und *S* endlich der Schlufsftein, deffen Projectionen in $s_{,}$ und $s_{,,}$ vorhanden find.

Für ein Kloftergewölbe aus Schnittfteinen über einem rechteckigen Raume gelten in den Hauptzügen diefelben Anordnungen für den Fugenfchnitt, wie bei dem vorhin behandelten Gewölbe. Die Gratfteine bedürfen jedoch einer befonderen Aufmerkfamkeit.

Bei einem rechteckigen Raume (Fig. 406) find die Leitlinien der unmittelbar neben einander ftehenden Gewölbwangen von einander verfchieden. Ift der Grundbogen der fchmaleren Wange hier ein Viertelkreis, fo ergiebt fich für die Leitlinie der antretenden breiteren Wange eine Viertelellipfe und weiter auch die Kehllinie als die Viertelellipfe $o_{,,}$ $s_{,,}$.

Nimmt man nun aus praktifchen Gründen für alle Wangen diefelbe Gewölbftärke und aufserdem auch für die Theilweiten der ungeraden Anzahl der Wölbfteine jeder Wange möglichft gleiche Abmeffungen an, fo werden die den Theilpunkten der Wölblinie von je zwei zufammengefügten Wangen zukommenden Lagerkanten, welche parallel mit den Kämpferlinien laufen müffen, im Allgemeinen nicht in gemeinfchaftlichen, der Reihe nach auf einander folgenden Punkten auf der Gratlinie *os* zufammentreffen.

Um dennoch geeignete und nicht fehr fchwierig zu bearbeitende Gratfteine zu erhalten, an welchen fpitze Ecken und Schneiden fo viel als irgend möglich zu vermeiden find, kann die Anordnung des Fugenfchnittes für diefe Steine in der folgenden Weife vorgenommen werden.

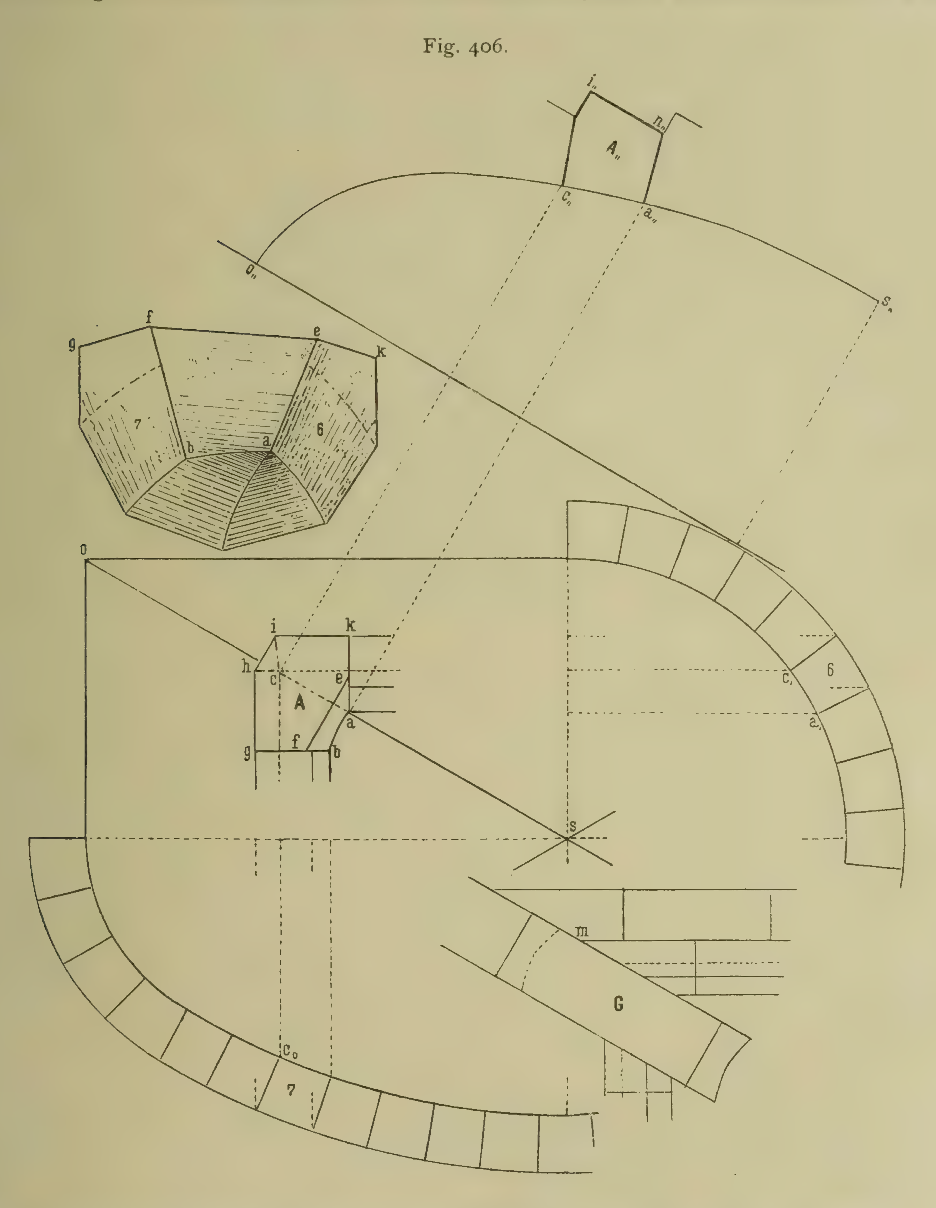
Sind die Theilungen für die Wölbfteine an der Urfprungs-Leitlinie des Kloftergewölbes beftimmt, fo mögen die Lagerkanten eines beliebigen Steines *6* die Gratlinie *os* in der Grundrifsprojection in den Punkten *a* und *c* fchneiden. Sind ferner auch die Theilungen der nach dem Grundbogen ermittelten Wölblinie der antretenden Gewölbwange für die Wölbfteine eingetragen, fo mögen die Lagerkanten eines Steines 7 denjenigen des Steines *6* in ihren Schnittpunkten auf der Gratlinie *os* am nächften liegen, jedoch ganz abgefehen davon, dafs, wie in der Zeichnung fich ergiebt, der Punkt *c* für die Lagerkanten *c*, bezw. c_0 bereits ein gemeinfchaftlicher Schnittpunkt ift. Von dem am nächften nach dem Scheitelpunkte *s* zu liegenden Schnittpunkte *a* aus wird eine Normalebene $a_{,,} n_{,,}$ für die Gratlinie $o_{,,} s_{,,}$ geführt und nach dem bei Fig. 404 gezeigten Verfahren die Grundrifsprojection *ab* der Schnittlinie diefer Ebene mit der Wange, welche die nach *o* zurückliegende Lagerkante *b* des Steines 7 enthält, fo weit ermittelt, bis diefelbe diefe Lagerkante in *b* trifft. Führt man durch *a* und *b* parallel zu der wagrechten Projection der Scheitellinien der zufammentreffenden Wangen lothrechte Ebenen *ak* und *bg*, fo enthalten diefelben die Stofs- oder Stirnflächen des Gratfteines *A*. Die Begrenzungen diefer Flächen ergeben fich weiter durch die Lagerkanten *ki*, bezw. *gh*, welche den Rückenflächen der Steine *6* und 7 angehören und durch die Stirnflächen diefer Steine felbft. Die Stofsfläche *abfe* ergiebt fich aus dem angenommenen, von den Punkten $a_{,,}$ bezw. $c_{,,}$ abhängigen lothrechten Schnitte $A_{,,}$ des in der Gratebene liegenden Gratfteines, durch Benutzung der durch $n_{,,}$ gehenden wagrechten Schnittlinie am Rücken des Gratfteines, welche zugleich fenkrecht auf der Gratebene fteht. Die Linie *ef* ift die wagrechte Projection jener Schnittlinie. Genau fo würde für den Punkt *c* vorzugehen fein. Hierfür ift durch $c_{,,}$ der Gratlinie eine Normalebene gelegt. Die wagrechte Projection ihrer Schnittlinie mit der Wange, welche die Lagerkante c_0 enthält, befchränkt fich hier nur auf einen Punkt *c*. Die Stofsfläche *chi* ergiebt fich nach der Schnittfläche $A_{,,}$ ohne Weiteres.

Hätte der Schnittpunkt der Lagerkante von c_0 mit der Gratlinie *os* eine nähere Lage nach *s* zu aufgewieſen, als der Schnittpunkt *c* der Lagerkante c_1, ſo würde die wagrechte Projection der Schnittlinie der Normalebene, welche nun dem Gratpunkt, der von c_0 geliefert wäre, angehören müſste, für die Beſtimmung des betreffenden Fugenſchnittes maſsgebend geworden ſein.

Im Bilde iſt die Form des Gratſteines *A* noch weiter verdeutlicht; auch ſind in demſelben die Stoſsflächen der Wölbſchichten *6* und *7* angegeben. Ein Fugenſchnitt, wie bei *m* und *G* iſt zu verwerfen.

Tritt der Fall ein, daſs gegen einen und denſelben Gratſtein von einer Seite allein oder gar von zwei Seiten zwei Wölbſchichten geführt werden müſſen, ſo werden

Fig. 406.



dadurch die grundlegenden Beſtimmungen für den Fugenſchnitt nicht geändert. Die gekennzeichneten Normalſchnitte ſind alsdann nur jedesmal für die beiden äuſserſten Lagerkanten der antretenden Wölbſchichten in Anwendung zu bringen.

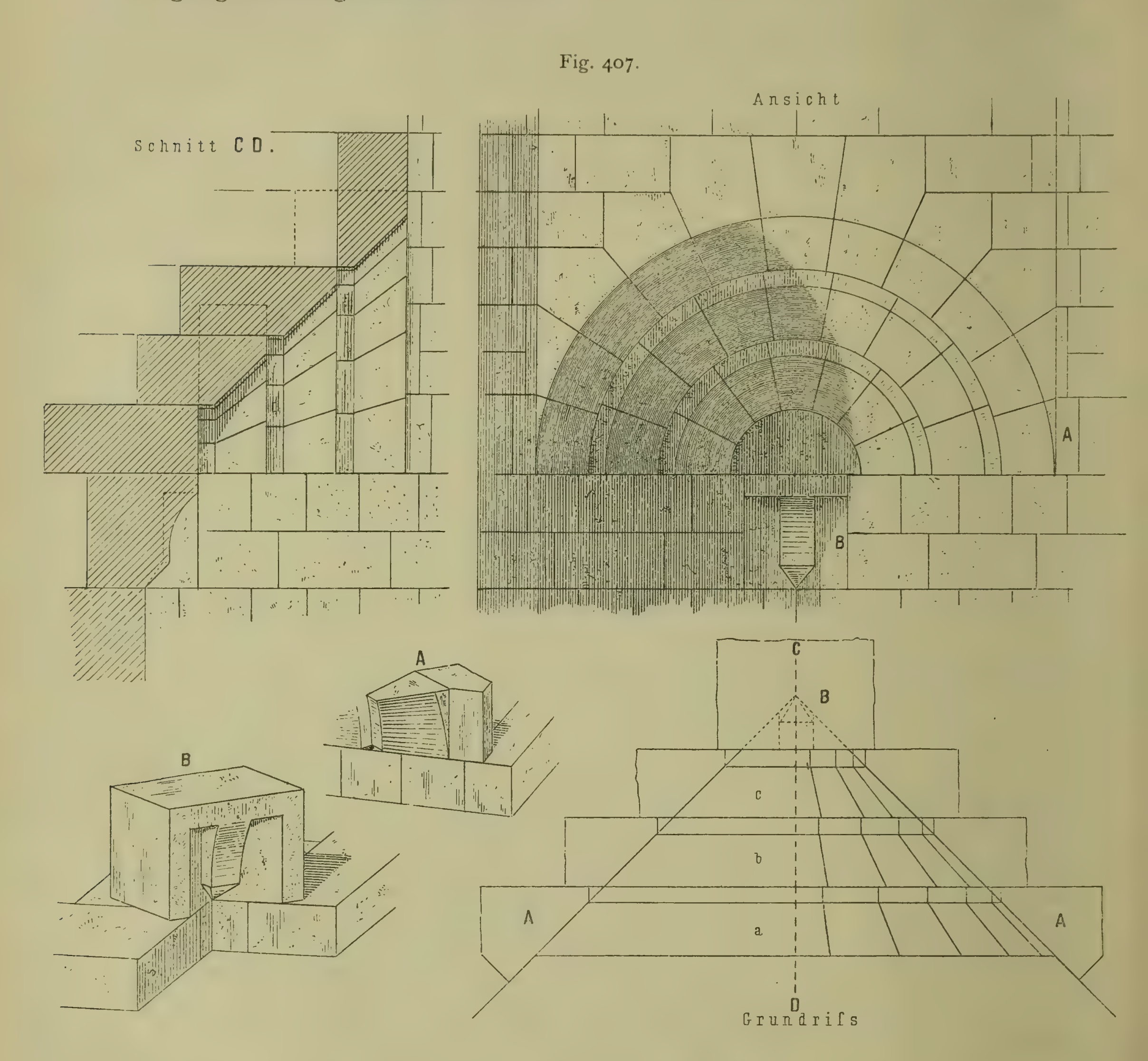
Für das Verſetzen der Quader, die Mörtelung und die ſonſtigen Handhabungen, welche ſich dabei geltend machen, kann auf Art. 170 (S. 246) verwieſen werden.

220. Eck-überführungen.

Sind für einzelne Wangen eines Kloftergewölbes die in Art. 210 (S. 318) erwähnten Ecküberführungen nothwendig, fo werden diefelben aufser der in Fig. 400 (S. 318) angegebenen Anordnung aus über einander lagernden kräftigen Tragfteinen oft weit zweckmäfsiger durch befondere Eck- oder Nifchengewölbe gebildet.

Am zweckmäfsigften wird für diefe Gewölbe Quadermaterial unter Anwendung eines geeigneten Fugenfchnittes benutzt.

Fig. 407.



Im Wefentlichen treten diefe Ecküberführungen als Kegel- oder als Halbkugelgewölbe mit oben wagrecht abgeglichenem Stirnbogen auf.

Das aus einzelnen Gewölbzonen oder Quarten hergerichtete einfache kegelförmige Nifchengewölbe ift in Fig. 407 dargeftellt und hieraus in feiner Anlage und in feinem Fugenfchnitte deutlich zu erkennen. Von Wichtigkeit ift eine geeignete Durchbildung des Anfängers oder des fog. Auges *B*, von welchem aus die Ecküberführung zu beginnen hat. Für diefes Auge wird ftets ein hinlänglich grofses Werkftück benutzt.

Das an ſich weniger einfache, vollſtändige Kegelgewölbe iſt als Niſchengewölbe in ſeinem Steinverbande nach Fig. 408 anzuordnen. Die Lagerfugenflächen, welche von der Theilung des Stirnbogens abhängig gemacht werden, laufen gegen das Auge *D*. Sie gehören Ebenen an, welche erweitert ſich ſämmtlich auf der Kegel-

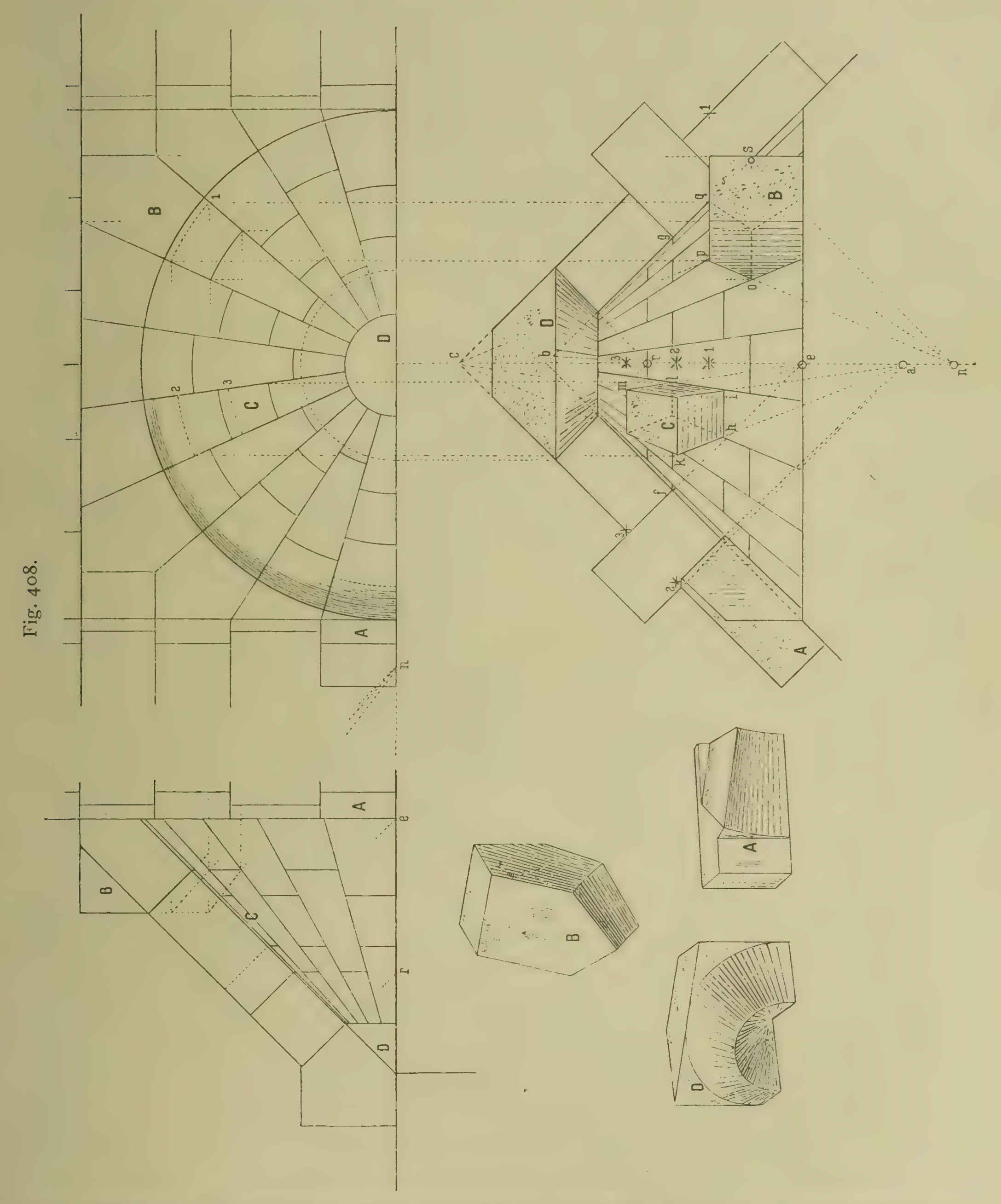


Fig. 408.

axe ſchneiden. Die Stoſsfugenflächen dagegen gehören beſonderen Kegelflächen an, deren Leitlinien Schnittlinien ſind, welche durch Ebenen, parallel zur Stirnlinie des Niſchengewölbes geführt, auf der Laibungsfläche dieſes Gewölbes hervorgerufen werden und deren Erzeugende gerade Linien ſein ſollen, welche ſenkrecht zur Kegelfläche des Niſchengewölbes ſtehen.

Beſitzt das Gewölbe eine gleichmäſsige Stärke und ſind b und c die Spitzen der Kegelflächen der inneren Laibung und des Rückens, ſo ſind bs und $c1$ parallele Erzeugende in der Kämpferebene des Kegelgewölbes. Der Abſtand $s1$ dieſer Erzeugenden iſt der Gewölbſtärke gleich. Soll nun z. B. die Stoſsfugenfläche opq für die durch o ziehende Stoſsfugenkante beſtimmt werden, ſo führt man durch o parallel zur Stirnebene in der Richtung os einen lothrechten Schnitt; alsdann enthält dieſer die Stoſsfugenkante. Errichtet man in s das Loth auf der Erzeugenden bs, ſo trifft daſſelbe die Kegelaxe im

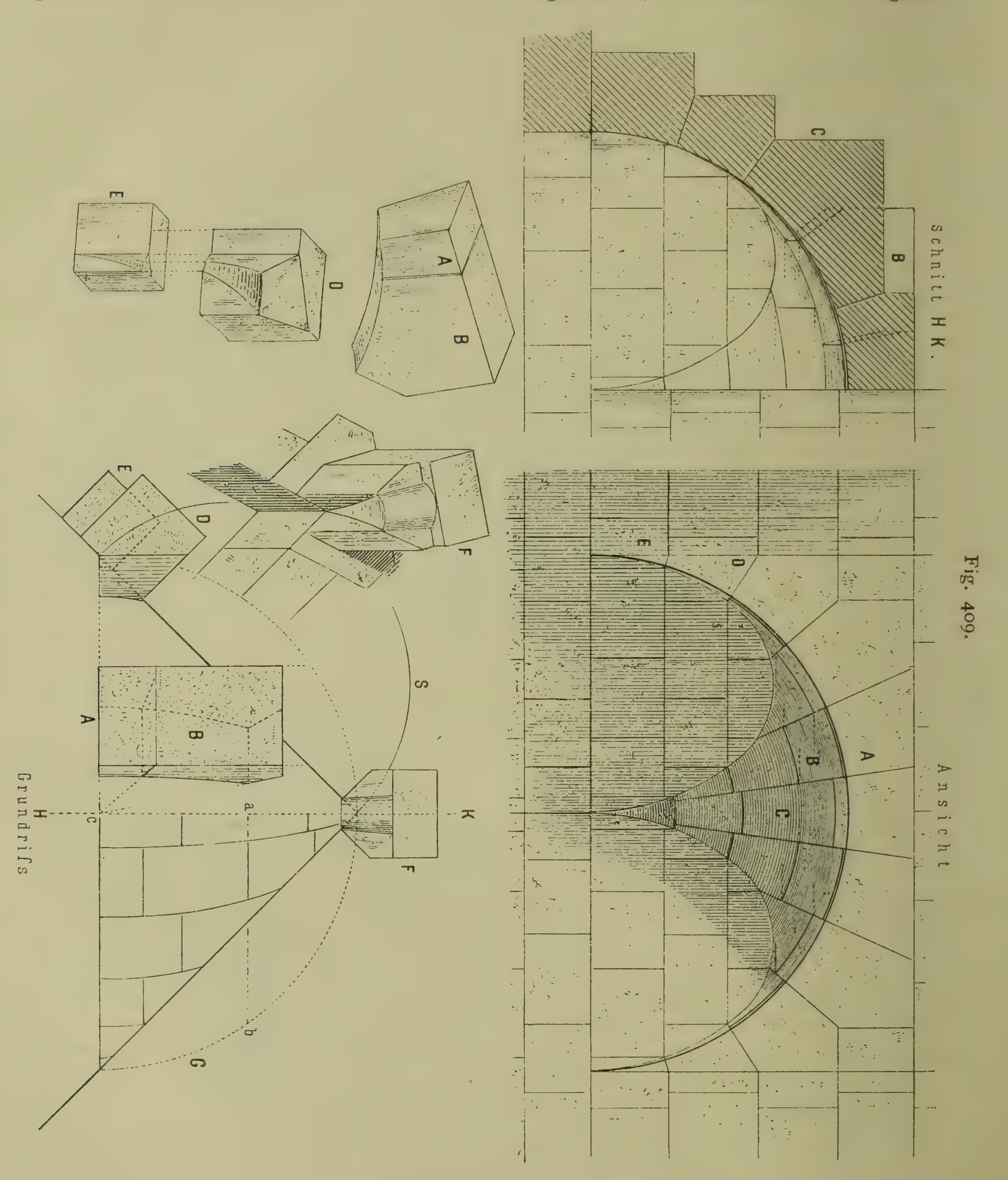


Fig. 409.

Punkte n. Erweitert man ns bis 1 der Erzeugenden $c1$ der Rückenfläche, legt man durch 1 wieder eine parallele Ebene zur Stirnebene e des Gewölbes, ſo giebt 11 die Lage der Stoſsfugenkante auf der Rückenfläche in der Grundriſsprojection an. Da der Punkt q mit Hilfe des Kreisbogens vom Halbmeſſer 11 und der Aufriſsprojection entſprechend zu finden iſt, ſo bleibt nur noch übrig, durch n und o, bezw. durch n und q gerade Linien zu ziehen, um die Grundriſsprojection der Stoſsfugenfläche opq zu erhalten. Aufriſs und Seitenprojection ergeben ſich auf dem aus der Zeichnung erſichtlichen Wege. Nach dem-

felben Verfahren find die Punkte a für die Stofsfugenfläche $h\,i\,k$, e für die Stofsfugenfläche $l\,m$ des Steines C und endlich r für die kegelförmige Stofsfugenfläche des Auges D ermittelt. Die im Bilde vorgeführten Steine A, B und D laffen die ihnen zu gebende Form noch näher erkennen.

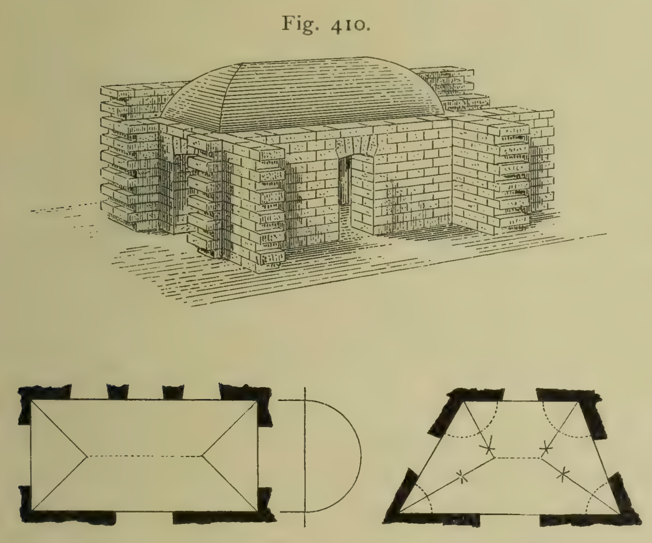
Das halbkugelförmige Nifchengewölbe mit abgefchnittenen Seiten ift in Fig. 409 vorgeführt. Bei demfelben ift G der gröfste Kreis einer Kugelfläche, welcher das Nifchengewölbe in feiner Laibungsfläche entnommen ift. Der Seitenbogen S ift ein Halbkreis mit dem Durchmeffer gleich der fchrägen Länge der Eckübertragung. Der Steinfugenfchnitt hat den Bedingungen zu entfprechen, dafs die fämmtlichen Lagerfugenflächen Meridianfchnitte der Halbkugel find, während die Stofsfugenflächen Kegelflächen werden follen, die fämmtlich den Mittelpunkt c der Kugelfläche zur Spitze haben. Die Leitlinien diefer Kegelflächen find Parallelkreife, welche, wie in der Grundrifsprojection z. B. als $a\,b$, die Stofsfugenkanten enthalten. Nach diefen einfachen Forderungen ift an der Hand von Fig. 409 die Geftaltung der einzelnen Wölbfteine, wovon die wichtigften befonders noch perfpectivifch gezeichnet find, ohne Schwierigkeiten möglich.

b) Muldengewölbe.

221.
Geftalt.

Das Muldengewölbe ift ein längeres Tonnengewölbe mit an den Stirnfeiten vorgelegten Wangen eines Kloftergewölbes. Daffelbe entfteht, wie Fig. 410 angiebt, durch eine einfache Verbindung der beiden genannten Gewölbformen. Ein gemeinfchaftlicher Anfallspunkt der beiden Stirnwangen oder Walme fehlt. Statt eines Scheitelpunktes, wie beim Kloftergewölbe, tritt eine mehr oder weniger lange Scheitellinie des eigentlichen Tonnengewölbes auf. Die Anfchlufspunkte der Kehl- oder Gratlinien der Stirnwalme find ftets die Endpunkte diefer Scheitellinie, gleichgiltig, ob die fchmalen Stirnfeiten rechtwinkelig oder fchiefwinkelig zu den längeren, einander parallelen Umfangsmauern des zu überwölbenden Raumes ftehen.

Fig. 410.



Je nach der für die Stirnwalme gewählten Weite find diefe Anfchlufspunkte feft zu legen. Die Grundrifsprojectionen der Kehllinien find gerade Linien, welche von den Ecken der Kämpferlinien nach den Anfchlufs- oder Anfallspunkten der Scheitellinie gezogen werden. Meiftens find bei einem Rechteck und auch bei einem Trapez als Grundrifs die wagrechten Projectionen der Kehllinien Halbirungsftrahlen der Winkel an den Ecken des Raumes. Sämmtliche Umfangsmauern treten als Widerlager auf.

Alles, was hinfichtlich der Ausmittelung der Leitlinie für die Gewölbwangen und für die Beftimmung der Kehllinien derfelben beim einfachen Kloftergewölbe gefagt wurde, findet auch unmittelbar wieder Anwendung beim Muldengewölbe.

Daſſelbe wird bei Feſtungsbauten zur Ueberwölbung von Caſematten häufig benutzt. In Folge der hohen Erdüberſchüttung, welche bei derartigen Bauwerken über dem Gewölbe angebracht wird, iſt daſſelbe meiſtens ſehr ſtark herzurichten.

222. Ausführung.

Die Stabilitäts-Unterſuchung im Allgemeinen und die Ausführung der Muldengewölbe im Beſonderen erfolgt nach den für das Tonnengewölbe und das einfache Kloſtergewölbe gemachten Mittheilungen.

In architektoniſcher Beziehung nimmt das Muldengewölbe, ſelbſt wenn dasſelbe in ſeinen Laibungsflächen durch Einfügen von Stichkappen bewegter geſtaltet werden ſollte, nur einen mehr untergeordneten Rang ein.

12. Kapitel.

Spiegelgewölbe.

a) Geſtaltung der Spiegelgewölbe.

223. Geſtalt.

Das Spiegelgewölbe iſt ein Kloſtergewölbe, welches zwiſchen der Kämpferebene und dem Scheitelpunkt durch eine wagrechte Ebene abgeſchnitten und in der dadurch gebildeten Oeffnung durch ein wagrechtes oder ſcheitrechtes Gewölbe wieder geſchloſſen wird. Die Laibungsfläche dieſes wagrechten Gewölbes wird Spiegel genannt. Wird die Oeffnung zum Anbringen eines Deckenlichtes benutzt, ſo entſteht ein Spiegelgewölbe mit Deckenlicht.

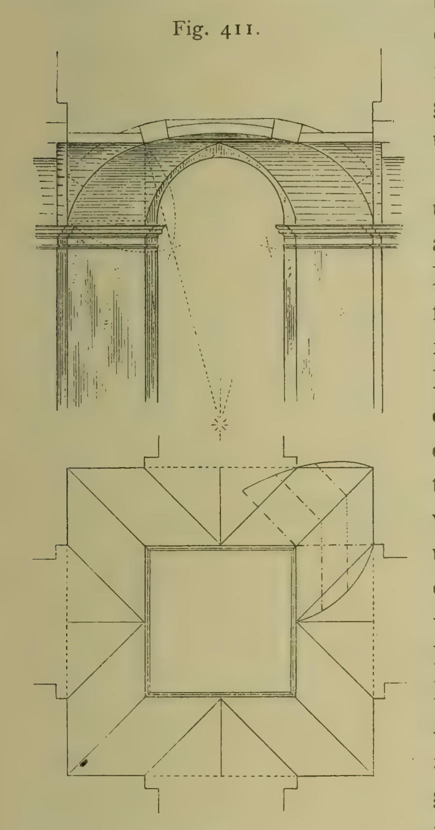
Zur weiteren Gliederung des Gewölbes werden in die als Theile von Kloſtergewölben auftretenden Wangen häufig Stichkappen (Lunetten) eingefügt, deren Spitzen oder Anfallspunkte in nur geringer Entfernung von der Umrahmung des Spiegels oder unmittelbar in derſelben liegen.

Die Vereinigung eines ſcheitrechten Gewölbes, ſelbſt wenn daſſelbe eine geringe Pfeilhöhe (Stich, Stechung, Buſung) erhalten ſoll, mit den Wangen des Kloſtergewölbes iſt für die Herſtellung eines Spiegelgewölbes in conſtructiver Beziehung bei ausſchlieſslicher Verwendung von Steinmaterial und bei einer etwaigen gröſseren Deckenbildung immerhin miſslich. Der Gewölbſchub iſt, wenn auch eine beſondere Beſchwerung des Gewölbes durch eine Nutzlaſt vermieden wird, im Allgemeinen bei derartigen Gewölben ſchon bei der mäſsigen Breite des Spiegels von etwa 3 m ziemlich beträchtlich, ſo daſs auf ſtarke Preſſungen im Gewölbkörper und ferner auch auf kräftige Durchbildung der Widerlagsmauern deſſelben gerechnet werden muſs. Aus dieſem Grunde werden in der Neuzeit gröſsere Spiegelgewölbe über Vorhallen, Treppenhäuſern, Sälen u. ſ. w. nicht ohne Anwendung eines eiſernen Stütz- und Tragſyſtems ausgeführt, welches in ſeinem Gerippe die Gewölbtheile aufnimmt.

In architektoniſcher Beziehung hat das Spiegelgewölbe jedoch eine nicht zu unterſchätzende Bedeutung. Erſcheint daſſelbe vermöge der durch Lunetten unterbrochenen, vom Widerlager aufſteigenden Hohlkehlen ſeiner Wangen ſchon als eine leicht ſich erhebende, mit der Theilung der Umfangswände in harmoniſcher Uebereinſtimmung ſtehende Deckenbildung, ſo kann die Wirkung der ganzen Anlage durch Ausſchmückung der hierfür äuſserſt günſtigen Gewölbflächen mit Ornamenten, Gemälden u. ſ. w. eine Steigerung erfahren, welche den höchſten Anforderungen zu entſprechen vermag, die an Reichthum und Pracht in der Ausſtattung der Spiegel-

gewölbe geftellt werden. Beifpiele derartiger in der Ausfchmückung üppiger Deckenbildungen, welche gleichfam als befondere Schauftücke zu betrachten find, bieten vielfach hervorragende Bauwerke, welche dem Bauftil der Renaiffance, dem Barock- und dem Rococo-Stil angehören. Ift auch die wirkliche Conftruction derartiger Decken oft durch ein Blendwerk von Holzverbindungen mit Putzüberzug gebildet und daher entfernt ftehend von einem eigentlichen Gewölbebau, fo ift doch ein Studium derfelben um fo mehr zu empfehlen, als in der Jetztzeit Spiegelgewölbe, conftruirt als gemifchtes Syftem aus Eifen und Stein, mannigfach in Anwendung kommen.

Fig. 411.

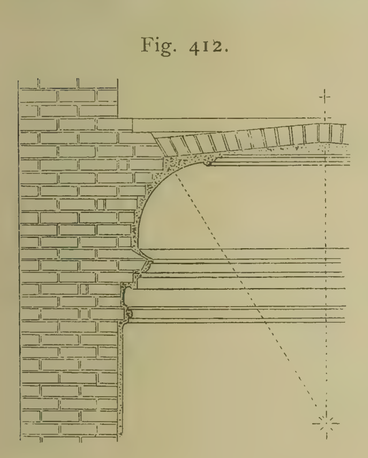


224.
Einfache Spiegelgewölbe.

Das einfache Spiegelgewölbe (Fig. 411) kann über quadratifchen, rechteckigen oder auch über anderen, im Grundrifs regelmäfsig angeordneten Räumen ausgeführt werden. Unregelmäfsige Grundformen find dabei als für diefe Deckenbildung unfchön auszufchliefsen. Würde man in befonderen Fällen und bei untergeordneten Anlagen die Wangen des Gewölbes fortlaffen, fo würde an die Stelle des einfachen Spiegelgewölbes ein fcheitrechtes Gewölbe treten. Diefe follten aber nur bis zu einer Spannweite von höchftens 3,5 m in Anwendung kommen und niemals ganz wagrecht, fondern immer mit einem Stich von etwa 1 cm auf 1 m Spannweite in vorzüglichem Verbande und mit fehr gut bindendem Mörtel ausgeführt werden. Eine befondere Ueberlaft foll auf diefen Gewölben, wenn diefelben bei *Moller*'fchem Verbande in ihren von Widerlager zu Widerlager ziehenden Fugen nicht etwa durchgehende, hochkantig geftellte Flacheifen (Bandeifen) als Armirung erhalten, nicht ruhen. Sollte dem mit Stich behafteten fcheitrechten Gewölbe eine wagrechte Laibungsfläche gegeben werden, fo ift diefelbe durch entfprechend ftarken Putz zu erzielen.

Will man dem fcheitrechten Gewölbe das Ausfehen eines Spiegelgewölbes gewähren, fo läfft man nach Fig. 412 ringsum an den Widerlagsmauern des Raumes mehrere Mauerfchichten wagrecht mit Auskragung anfetzen. Diefe ftaffelartig gebildeten Widerlager des mit mäfsigem Stich verfehenen fcheitrechten Gewölbes werden durch Putzüberzug zu einer Hohlkehle ausgebildet, welche durch eine gleichfalls aus Putz angefertigte Umrahmung der Spiegelfläche begrenzt wird. Bei gröfserer Ausladung der vorgekragten Widerlager können zweckmäfsig zur Sicherung und Unterftützung derfelben kleine ⊥-förmige Profileifen unter Benutzung von Cementmörtel mit eingemauert werden. Diefe Eifen greifen aufserdem noch mit entfprechender Länge in das Mauerwerk der Umfangsmauern ein.

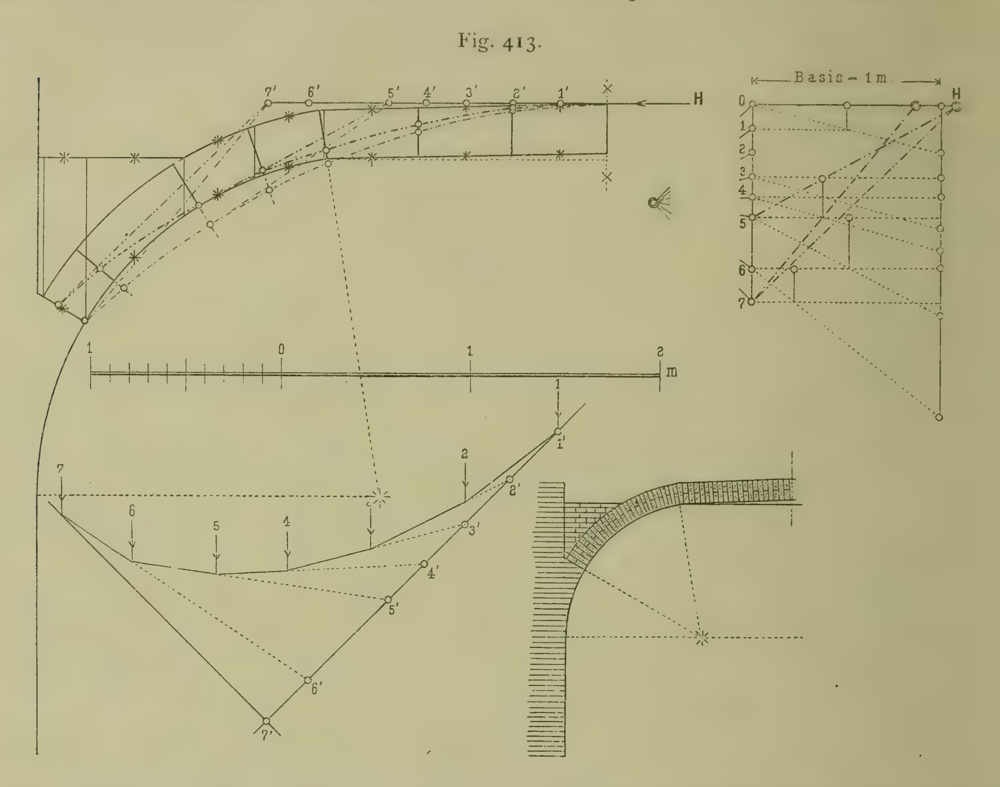
Fig. 412.



Aber auch dann, wenn die Anfätze des Spiegel-

gewölbes als Wangentheile eines Kloftergewölbes auszuführen find, werden fachgemäfs die unteren Schichten derfelben, fo weit thunlich ift, vorgekragt (Fig. 413), um hierdurch die Weite der eigentlichen Wölbung möglichft zu vermindern. Die in der Abbildung für einen Gewölbftreifen von der Tiefe gleich der Längeneinheit eingetragene Mittellinie des Druckes mit dem möglichft kleinften Gewölbfchub H giebt über die ftatifchen Verhältniffe des Gewölbkörpers näheren Auffchlufs.

Fig. 413.



225.
Spiegelgewölbe mit Stützwerk aus Eifen.

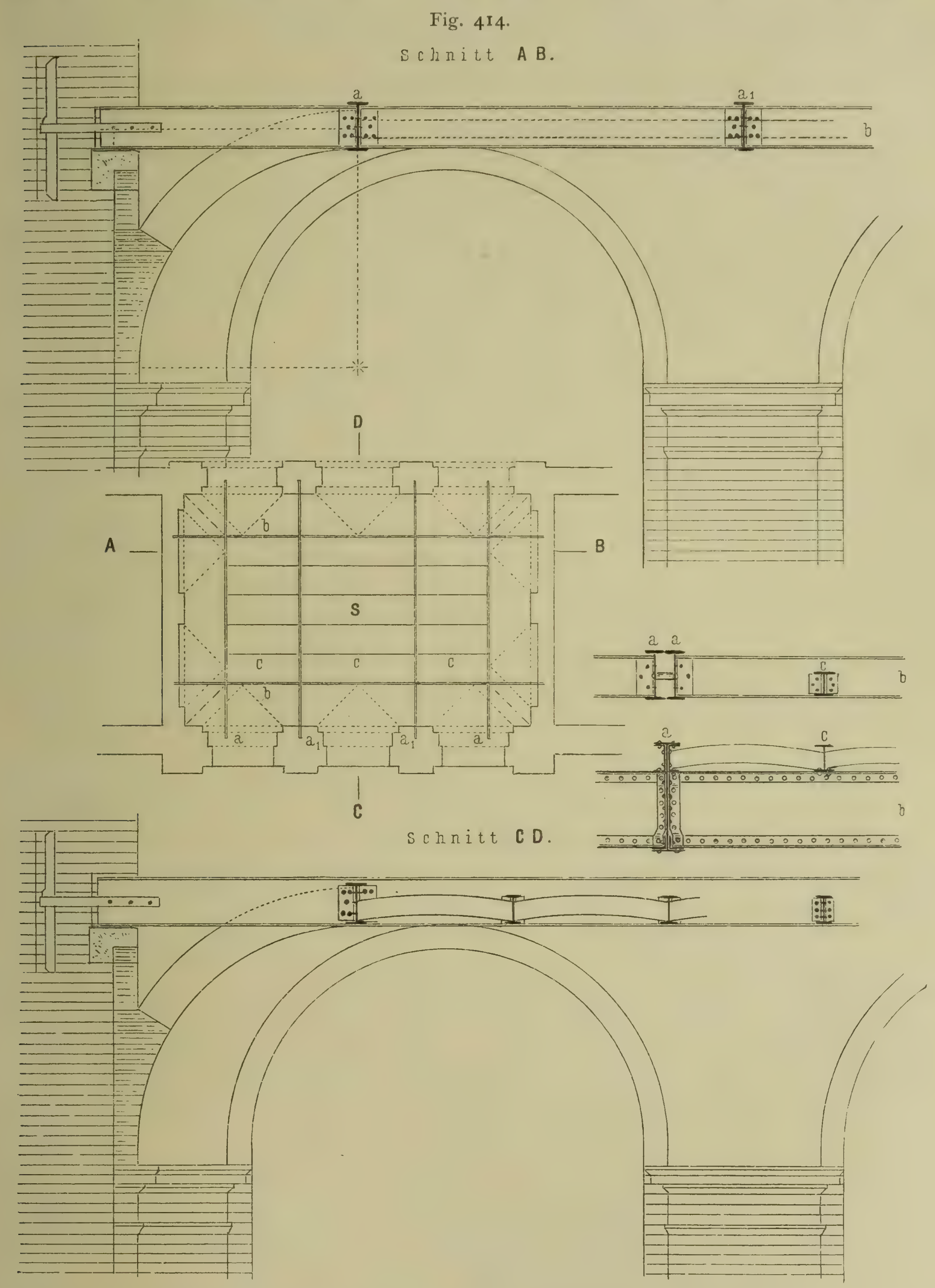
Gehen die Raumabmeffungen für Decken als Spiegelgewölbe über 3,5 m hinaus, fo verläfft man am beften die einfache Gewölbebildung und geftaltet die Decke durch Einfügen eines Gerippes aus Eifenträgern zu einem gemifchten Syftem von Eifen und Stein. In folchen Fällen wird die angeordnete Eifen-Conftruction als Trag- und Stützfyftem der wefentlichfte Beftandtheil der Decke, während die zwifchen dem eifernen Rippenwerk eingefügten gewölbten Theile derfelben mehr als Füllwerk zur Herftellung der Form des Spiegelgewölbes auftreten.

Die Geftaltung diefer Decken ift in den grundlegenden Anordnungen durch Fig. 414 näher angegeben.

Mit der Begrenzung des Spiegels S zufammenfallend und zuweilen im Gebiete deffelben werden Walzeifen- oder, bei bedeutender Weite und erheblichem Gewichte der Decke, eiferne Nietträger a, bezw. a, verlegt, welche ihre Auflager auf den Umfangsmauern erhalten und an ihren Enden durch forgfame Ummauerung, bezw. durch eine Verankerung die geficherte Lage erhalten. Gegen diefe Hauptträger a, a, fetzen fich in der weiteren Begrenzung des Spiegels liegende Querträger b. Diefelben werden mit den Hauptträgern durch Winkeleifen unter Anwendung einer guten Vernietung verbunden, fo dafs hierdurch ein eiferner Rahmen entfteht, welcher als Hauptgerippe der Decke ein entfprechendes oberes Widerlager für die unteren Wangen des Spiegels bietet, wie aus den Schnitten AB, bezw. CD hervorgeht. Zur weiteren Sicherung der mit einander verbundenen Haupt- und Querträger werden diefelben oft noch durch befondere Confoleträger unterftützt, welche von den feften Umfangsmauern aus bis zu den Trägern a, bezw. b geführt werden. Die untere Begrenzungslinie diefer Confoleträger hat fich nach der Wangen-

linie, bezw. nach der Kehllinie des Gewölbes zu richten. Für die Einwölbung des Spiegels *S* werden noch in Entfernungen von etwa 1 m von einander kleine Nebenträger *c* eingebracht. Dieselben werden unter Beobachtung ihrer geringsten Längenausdehnung in geeigneter Weise entweder mit den Querträgern *b*

Fig. 414.



oder mit den Hauptträgern *a* durch Winkeleisen und Nietung, bezw. Verschraubung verbunden. Die durch Einschaltung dieser Nebenträger entstehenden, sehr schmalen Gewölbfelder des Spiegels werden mit ganz flachen Kappengewölben, bezw. scheitrechten Gewölben geschlossen, welchen nur etwa 2 cm Stich gegeben wird.

Soll die Oeffnung im Trägergerippe *a*, *b* für ein Deckenlicht benutzt werden, fo bleiben die Nebenträger *c* fort. Das Rahmenwerk des Gerippes dient alsdann zur Aufnahme der Conftructionstheile des Deckenlichtes.

Für die Geftaltung der Lunetten (Stichkappen) in den Gewölbwangen des Spiegelgewölbes behält das hierüber beim Klostergewölbe in Art. 206 (S. 306) Gefagte Giltigkeit.

b) Stärke der Spiegelgewölbe und ihrer Widerlager.

226.
Gewölbftärke.

Das einfache Spiegelgewölbe würde in den Elementarftreifen, parallel zu den Axen feiner Gewölbwangen zerlegt, dem Stücke eines Tonnengewölbes mit einer nach einem flachen Korbbogen gebildeten Wölblinie entfprechen. Die Ermittelung der Stabilität und der Stärke eines folchen Elementarftreifens kann, wie Fig. 413 zeigt, ganz nach den beim Tonnengewölbe in Kap. 9 (unter b) gemachten Angaben bewirkt werden.

Wird der Spiegel des Gewölbes auf Schwalbenfchwanz ausgeführt, fo find die in Art. 181 (S. 277) gegebenen Mittheilungen zu berückfichtigen. Da die einfachen Spiegelgewölbe zum Tragen einer Ueberlaft nicht in Anfpruch genommen werden follen, fo ift bei der Stabilitäts-Unterfuchung derfelben nur das Eigengewicht des Wölbmaterials in Betracht zu ziehen.

227.
Widerlagsftärke.

Ausgehend von den erwähnten Elementarftreifen, deren Spannweite einmal von der Länge des zu überdeckenden Raumes, fodann von der Breite deffelben abhängig wird, ift die Widerlagsftärke der Spiegelgewölbe gleichfalls wie beim Tonnengewölbe nach dem in Art. 142 (S. 197) Vorgetragenen zu ermitteln.

228.
Empirifche Regeln.

Für Spiegelgewölbe find empirifche Regeln zur Beftimmung ihrer Gewölbftärke und der Widerlagsftärke durchaus nicht am Platze. In jedem befonderen Falle ift auch eine befondere, foeben gekennzeichnete Stabilitäts-Unterfuchung und Ermittelung der Abmeffungen für eine derartige Gewölbanlage vorzunehmen.

229.
Spiegelgewölbe mit Eifengerippe.

Bei den für gröfsere Deckenbildungen in Frage kommenden Spiegelgewölben mit Eifengerippen nimmt die ftatifche Unterfuchung der eifernen Träger-Conftruction den erften Rang ein. Sind die Belaftungen diefer Hauptbeftandtheile der Decken ermittelt, fo find die Berechnungen der Träger nach den in Theil III, Band 1 (Abth. 1, Abfchn. 3, Kap. 7) diefes »Handbuches« gegebenen Entwickelungen durchzuführen. Bei der ftatifchen Unterfuchung der vom Widerlager bis zu dem höher und am Spiegel gelegenen Trägerfyftem aufsteigenden Wangen ift zu beachten, dafs ein Elementarftreifen derfelben einem einhüftigen Gewölbe angehört; hiernach ift die Unterfuchung deffelben im Sinne des in Art. 146 (S. 208) Gefagten zu führen. Wird der Spiegel in feinen Feldern durch Kappengewölbe gefchloffen, fo ift die Stabilität derfelben auf Grund des in Art. 176 (S. 263) Gegebenen zu prüfen.

c) Ausführung der Spiegelgewölbe.

230.
Allgemeines.

Da das Spiegelgewölbe in Anbetracht feiner eigentlichen Geftaltung und Conftruction feine Aufgabe weit mehr darin zu fuchen hat, eine leicht durchgeführte, entfprechend gegliederte und gefchmückte, raumabfchliefsende Decke zu liefern, als noch aufserdem fremde Laften zu tragen, fo ift dem entfprechend bei der Ausführung der Spiegelgewölbe namentlich bezüglich des zu verwendenden Wölbmaterials und Bindemittels gebührende Rückficht zu nehmen.

Aus diesem Grunde treten als Hauptbaustoffe für Spiegelgewölbe Backsteine, die gewöhnlichen Lochsteine oder hinreichend feste poröse Barnsteine in den Vordergrund. Bruchsteine sind im Allgemeinen auszuschliessen, während Quader bei verhältnissmässig gering gespannten Spiegelgewölben benutzt werden können. Bei Verwendung von Backstein ist ferner eine vorzügliche Verkittung der Wölbsteine geboten und deshalb ein ausgezeichneter Cementmörtel, bezw. verlängerter Cementmörtel als Bindemittel in jeder Beziehung für den gesicherten Bestand der Spiegelgewölbe anzurathen.

Fig. 415.

231.
Lehrgerüste.

Für die Ausführung der Spiegelgewölbe wird eine vollständige auf Lehrbogen, bezw. Wölbscheiben lagernde Unterschalung hergerichtet. So weit der Spiegel *S* reicht, werden nach Fig. 415 die Hauptlehrbogen *a* in Entfernungen von 1,0 bis 1,5 m aufgestellt. Gegen dieselben legen sich Lehrbogen *b*, welche für die Kehllinien der Wangen in bekannter Weise auszumitteln sind, und die Schiftlehrbogen *c* von je zwei einander gegenüber liegenden Wangen. Im Uebrigen gilt das beim Tonnengewölbe in Art. 152 (S. 220) hinsichtlich der weiteren Behandlung der Gewölbgerüste Gesagte.

Bei Spiegelgewölben zwischen Eisengerippe erhalten die einzelnen Gewölbtheile gleichfalls eine Unterschalung. Die Lehrbogen oder die in vielen Fällen für die Wangen zu benutzenden einfachen Wölbscheiben reichen alsdann nur vom Kämpfer bis zu den Rändern des Spiegels, während letzterer für sich, falls ein geschlossener Spiegel ausgeführt werden soll, eine Unterschalung erhält, wie solche bei flachen Kappengewölben üblich ist.

Fig. 416.

232.
Spiegelgewölbe aus Backstein.

Bei den einfachen Spiegelgewölben aus Backstein kann, wenn die Wangen Hohlkehlen bilden, deren Wölblinie ein flacher Kreisbogen ist, der Verband auf Kuf, bezw. auf Schwalbenschwanz durchweg für Wangen und Spiegel beibehalten werden. Wird dagegen die Wölblinie der Wangen ein Viertelkreis, so wählt man für dieselben den Verband auf Kuf, während der Spiegel dann allein meistens im Schwalbenschwanzverband eingewölbt wird.

Beide Anordnungen ſind in Fig. 416 bei *A*, bezw. *B* dargeſtellt. Bei der in *B* gegebenen Einwölbung iſt zur Erzielung eines zweckmäſsigen Anſatzes der in Schwalbenſchwanzverband antretenden Wölbung das Einfügen beſonderer Werkſtücke *a* an den Ecken des Spiegels zu empfehlen.

Die Wangen der Spiegelgewölbe mit eiſernem Rippenſyſtem werden auf Kuf eingewölbt, während die Kappen des Spiegels in demſelben Verbande oder auf Schwalbenſchwanz herzurichten ſind.

Fig. 417.

Schnitt AB.

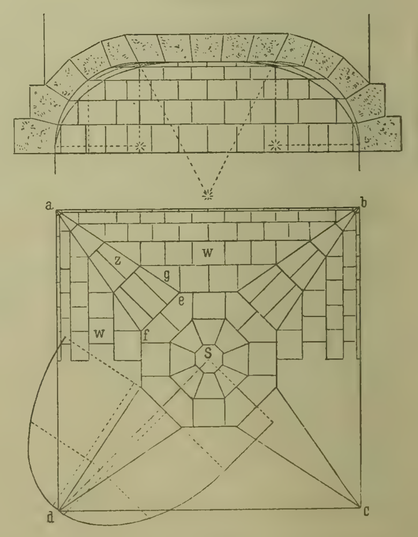
Soll der Spiegel Caſſetten erhalten, ſo iſt der in Art. 162 (S. 233) mitgetheilte Verband anzuwenden.

233.
Spiegelgewölbe aus Quadern.

Für Spiegelgewölbe über Räumen von etwa 4,0 m gröſster Seitenabmeſſung können bei genügend ſtarken Umfangsmauern und bei mäſsiger Belaſtung der Decke von oben auch Quader als Wölbſteine zur Anwendung kommen. Der Steinfugenſchnitt derſelben iſt im Allgemeinen dem Verbande auf Kuf entſprechend zu ordnen.

Im Beſonderen iſt für die Grat- oder Kehlſteine, um eine hakenförmige Geſtalt derſelben zu vermeiden, die Anordnung *g* (Fig. 417) nach den beim Kloſtergewölbe in Art. 219 (S. 325) gegebenen Darſtellungen vorzunehmen, während die übrigen Wangenſteine als gewöhnliche Tonnengewölbſteine zu laſſen ſind. Die Formen der Wölbſteine des Spiegels *S*, welcher in ſeiner Geſammtheit nur eine mit nahezu ebener Laibungsfläche behaftete, ohne ausgeſprochene Kehllinien beſtehende Fortſetzung der Wangenflächen iſt, entſprechen ebenfalls den übrigen Wangenſteinen. Auch hierbei kann die Bildung der Eckſteine *i* der einzelnen Schichten ohne hakenförmigen Anſatz bewirkt werden.

Fig. 418.



Soll bei Gewölben über quadratiſchen oder rechteckigen Räumen dem Spiegel eine nach dem Achteck feſt gelegte Begrenzung gegeben werden (Fig. 418), ſo laufen an jeder Ecke des Raumes vom Kämpferpunkte *a* aus zwei Kehllinien *ae*, *af* nach den Ecken des Spiegels. Dieſelben begrenzen die gröſseren Wangen *w* und kleinere, in der wagrechten Projection als Dreiecke *a e f* erſcheinende Wangen *z*. Für die Schnittlinien nach *a e* und *a f* ſind wiederum beſondere Grat- oder Kehlſteine zu ſchaffen, deren Fugenſchnitt ſich ohne Schwierigkeit ermitteln läſſt, ſobald das Feſtlegen der Geſtalt der Kehllinien und

Wölblinien der Dreieckswangen *z* nach dem gewählten Grundbogen einer Wange *w* vorgenommen ift. Aus der Zeichnung geht die allgemeine Anordnung der Lager- und Stofsfugenkanten für die Wangen und den Spiegel *S* auf der wagrechten Projection der Laibungsfläche des Gewölbes hervor.

Hinfichtlich des Verfetzens der Quader, des Mörtels u. f. f. ift auf Art. 170 (S. 246) zu verweifen.

13. Kapitel.

Kreuzgewölbe im Allgemeinen.

234. Syftem-bildung.

Das Beftreben und auch das Bedürfnifs, bei der Grundrifsentwickelung eines Bauwerkes mehrere neben einander liegende Räume, welche mit dem wohl bekannten halbkreisförmigen Tonnengewölbe überdeckt werden konnten, in höherem Mafse in Verbindung zu bringen, als folches an fich durch die in den Stirnmauern folcher Gewölbe leicht zu fchaffenden Oeffnungen möglich war, muffte naturgemäfs dazu führen, auch in den eigentlichen Widerlagskörpern diefer Decken Oeffnungen anzulegen und nach oben durch kleinere Tonnengewölbe, d. h. durch befondere Bogen, abzufchliefsen. Mochte diefe Bogenanlage auch anfänglich in ihren Scheitelpunkten noch in gröfserem oder geringerem Abftande unter dem Fufse des Tonnengewölbes befindlich fein, immerhin war die Auflöfung der Maffe des Widerlagskörpers in einzelne mehr oder weniger breite Pfeiler erreicht. Konnte man nun die Bogen der Widerlagsöffnungen mit einer gröfseren Länge behaften und durch rechtwinkelig zu den gefchaffenen Pfeilern ftehende, an den Hauptraum tretende neue Widerlagskörper ftützen, fo entftand ein Zufammenhang von mit Tonnengewölben überdeckten Räumen, welche jedoch in Rückficht auf das Hauptgewölbe eine tiefere Kämpferlage befafsen. Eine folche Anlage konnte nicht in allen Fällen befriedigen, und wenn auch bei den Römern des Abendlandes, namentlich bei der Anwendung von Quadern als Wölbmaterial, die verfchieden hohe Lage der Kämpfer auf einander tretender Tonnengewölbe noch nicht vermieden wurde, fo machten fich doch, vom Morgenlande ausgehend, Einflüffe geltend, welche eine beffere Vereinigung der zufammentreffenden Tonnengewölbe erzielen liefsen. Fielen die Kämpferlinien diefer Gewölbe in eine und diefelbe wagrechte Ebene, waren aber die Durchmeffer derfelben verfchieden, fo fetzten fich die kleineren Gewölbe als »Stichkappen« in das gröfsere Tonnengewölbe; waren dagegen die Durchmeffer derfelben gleich grofs, fo durchkreuzten fich beide Tonnengewölbe und bildeten als befondere Gewölbart das »Kreuzgewölbe«. In beiden Fällen war an allen Seiten des Raumes die Anlage entfprechend grofser Oeffnungen und damit eine Auflöfung der Widerlagsmauern in einzelne, das Gewölbfyftem ausfchliefslich ftützende Pfeiler möglich, fo dafs eine Reihe von derartigen Gewölbanordnungen für einen ausgedehnten Grundplan Platz greifen konnte. Durch die Einführung diefer zufammengefetzten Tonnengewölbe ift ein bedeutender Fortfchritt im Gewölbebau überhaupt angebahnt.

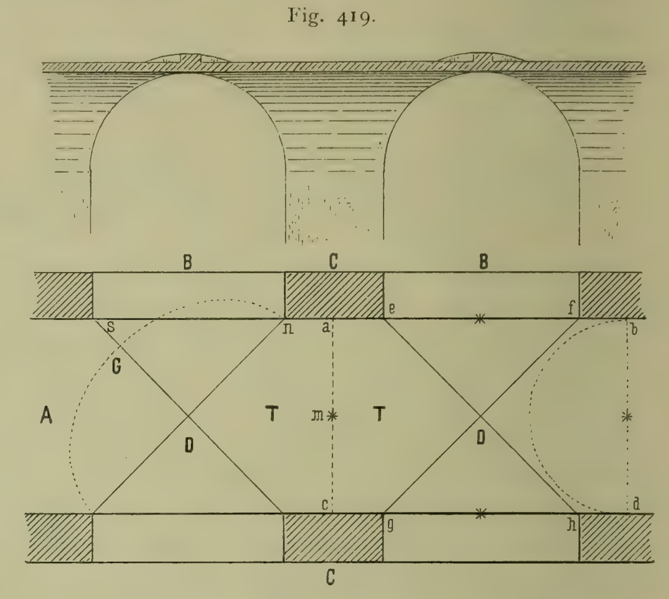
235. Römifches Kreuzgewölbe.

Die Grundlagen des befprochenen Wölbfyftems, welches dem römifchen Kreuzgewölbe entfpricht, follen an der Hand der Zeichnung noch näher erläutert werden.

In Fig. 419 ift *A* ein halbkreisförmiges Tonnengewölbe vom Durchmeffer *bd*. Gegen daffelbe treten Tonnengewölbe *B*, deren Wölblinien gleichfalls Halbkreife

find vom Durchmeffer ef, bezw. ns, gleich dem Durchmeffer der Wölblinie des Tonnengewölbes A. Die Axen beider Gewölbgruppen liegen in einer und derfelben wagrechten Kämpferebene und fchneiden fich rechtwinkelig. Die Stücke D der Gewölbe B ftecken gleichfam als Stichkappen im Hauptgewölbe A; fie befitzen in der Laibungsfläche der zufammengefügten Gewölbe einen gemeinfchaftlichen Anfallspunkt als Schnittpunkt der fich rechtwinkelig treffenden wagrechten Scheitellinien beider Gewölbe A und B, d. h. den Scheitelpunkt derfelben. Ueber $efgh$ liegen die Schnittlinien diefer Gewölbe als befondere Diagonalbogen. Bei den gleichen Durchmeffern der Gewölbe find diefe Diagonalbogen in ihrer wagrechten Projection gerade Linien, in ihrer wirklichen Geftalt aber halbe Ellipfen, deren grofse Axe der Länge der Diagonalen eh, bezw. fg, deren halbe kleine Axe dem Halbmeffer $ma = mc$, alfo dem Halbmeffer der Wölblinien der Gewölbe A, bezw. B entfpricht.

Fig. 419.



Das Gewölbe oberhalb $efgh$ ift ein Kreuzgewölbe. Mit demfelben fteht jedoch noch ein Stück T des Tonnengewölbes A im Zufammenhange, fo dafs die der Reihe nach folgenden Kreuzgewölbe um eine Länge en von einander abgerückt erfcheinen. Diefer Länge en gehören die für beide Gewölbe A und B, bezw. für die Kreuzgewölbe entftehenden Widerlagskörper in Geftalt eines Mauerpfeilers an. Von den Ecken e und n, bezw. g und h fteigen die Diagonalbogen der Kreuzgewölbe empor.

Diefe grundfätzlich getroffene Anordnung an einander gereihter Kreuzgewölbe, zwifchen denen noch kurze Theile eines geraden Tonnengewölbes beftehen bleiben, war den Römern fchon hinlänglich bekannt geworden; auch heute noch wird diefelbe vielfach in Anwendung gebracht.

Geftattet diefe Anordnung die Ueberdeckung eines einzelnen rechteckigen längeren Raumes mit Kreuzgewölben, fo folgt auch bei dem Innehalten des grundlegenden Wefens derfelben ohne grofse Umftände die Möglichkeit des Zufammenfügens von Kreuzgewölben über ausgedehnteren Grundriffen fowohl der Länge, als auch der Breite des Raumes nach.

Ein derartiges Gewölbfyftem zeigt Fig. 420. Hierbei ift jedoch B noch theilweife als ein Haupttonnengewölbe belaffen, während für die Abtheilungen A und C, bezw. D und E Kreuzgewölbe in ihrer Vollftändigkeit vorhanden find. Die Wölblinien der fich durchfchneidenden Tonnengewölbe A mit D und E, bezw. C mit D und E haben einen gleichen Durchmeffer; das Tonnengewölbe B dagegen befitzt einen Halbkreis als Wölblinie mit gröfserem Durchmeffer. In Folge hiervon treten bei diefem Gewölbfyftem die Stücke a und b der Kreuzgewölbe als gewöhnliche Stichkappen für das Tonnengewölbe B auf; ihre höchften Anfallspunkte vereinigen

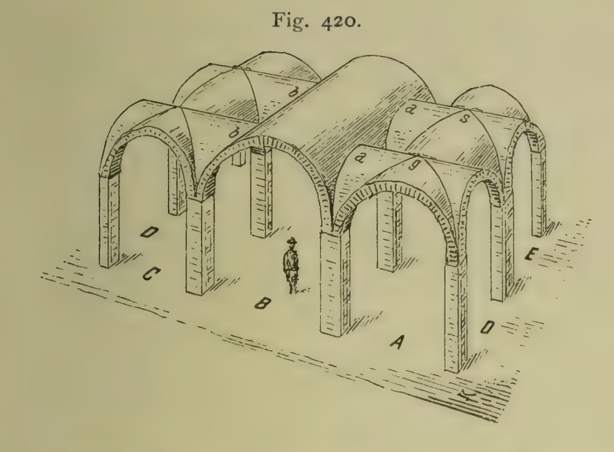


Fig. 420.

fich nicht in einem gemeinfchaftlichen Schnittpunkte auf der Scheitellinie des Gewölbes *B*, fondern liegen tiefer als diefe Linie. Aus diefem Grunde ift das Gewölbe *B* nur ein Tonnengewölbe mit Stichkappen, kein eigentliches Kreuzgewölbe.

Die Stützen der gefammten Gewölbanlage beftehen aus einzelnen Pfeilern an den Ecken der zufammengefügten Gewölbftücke. Die Stellung der Pfeiler veranlafft die Gliederung des Raumes in einzelne innig zufammenhängende Abtheilungen; diefelbe ift durch die gefetzmäfsige Bildung der gewölbten Decke bedingt.

Giebt man dem Gewölbe *B* denfelben Halbkreis als Wölblinie, wie den Gewölbzügen *A* und *C*, bezw. *D*, fo geht das ganze Wölbfyftem in Kreuzgewölbe über, welche fich der Länge und Breite nach für den in Frage kommenden Raum an einander reihen.

Mag auch vorläufig davon abgefehen werden, in welcher Weife die Römer die Ausführung ihrer Kreuzgewölbe nach dem hier befchriebenen Wölbfyfteme bewirkten: das Ziel war erreicht, bisher räumlich von einander getrennte Bautheile in innigen Zufammenhang zu bringen und bei der Raumtheilung und der Deckenbildung zu einem organifchen Ganzen zu geftalten.

Der Einflufs, welchen diefes Wölbfyftem im Gefolge haben muffte, war bedeutend, und wenn auch für die Anwendung deffelben vorweg bei der Grundrifsbildung der einzelnen, mit Kreuzgewölben zu überfpannenden Raumabtheilungen nur eine quadratifche Planlage innegehalten werden konnte, fo zeigt fich doch, dafs allmählich auch für rechteckige Plantheilungen das gefchaffene Syftem unter Einführung von Umgeftaltungen, die jedoch den eigentlichen Kern der Form des Kreuzgewölbes nicht fchädigten, zur weiteren Benutzung fähig war.

236.
Romanifches Kreuzgewölbe.

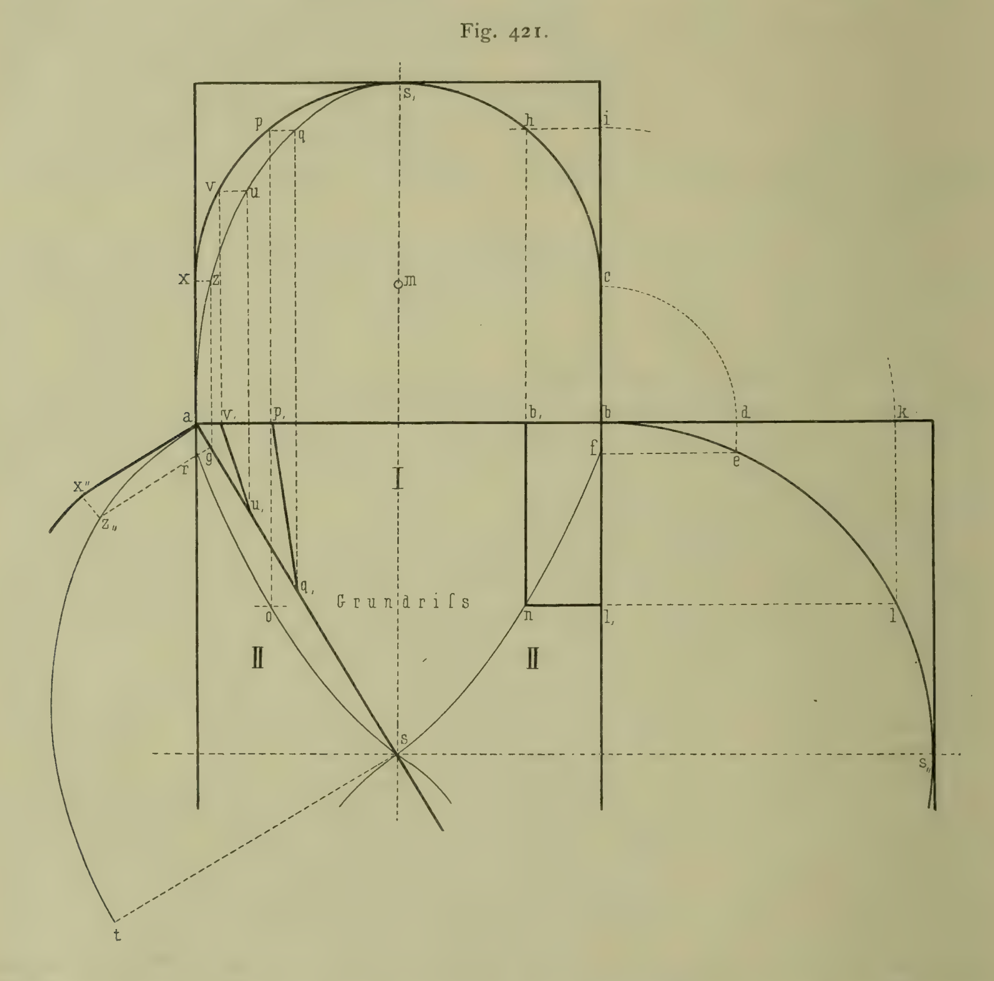
Die romanifche Baukunft übernahm das Kreuzgewölbe, und zwar zunächft über quadratifchen oder annähernd quadratifchen Grundrifstheilungen. Für die beiden bei folchen Kreuzgewölben zufammenfchneidenden Tonnengewölbe konnte die Halbkreisform mit gleichem Durchmeffer als Wölblinie beibehalten werden. Das Einwölben felbft erfolgte aller Wahrfcheinlichkeit nach in der Weife, dafs zunächft das eine Tonnengewölbe vollftändige Unterfchalung erhielt, auf welche alsdann, wie folches noch heute beim Anbringen von Stichkappen in Tonnengewölben üblich ift, fich die Schalungen für die quer antretenden Tonnengewölbftücke legten. In den Schnittlinien diefer Schalungen mit derjenigen des erften Gewölbes ergab fich fofort die Geftalt der Diagonalbogen des Kreuzgewölbes von felbft.

So einfach fich hierdurch die Beftimmungsftücke eines Kreuzgewölbes bei quadratifchem Gewölbfelde ergaben, fo bedenklich wurde die Geftaltung der Kreuzgewölbe über einem rechteckigen Felde, fobald die Scheitellinien der zufammentretenden Gewölbftücke oder Gewölbkappen in gleicher Höhe über der Kämpferebene liegen und die Wölblinien der Kappen fich im Ganzen der Halbkreisform möglichft anfchliefsen follten. In folchen Fällen lag die in Fig. 421 gekennzeichnete

Geſtaltung des Gewölbes nahe, wonach für die lange Seite des Rechteckes ein Stirnbogen als voller Halbkreis beibehalten, der Stirnbogen der ſchmalen Rechtecksſeite ebenfalls als Halbkreis mit entſprechend kleinerem Durchmeſſer ab, aber mit einer Ueberhöhung ax, bezw. bc eingeführt wurde, um durch dieſe Ueberhöhung oder Stelzung die Scheitellinien der zuſammentretenden Gewölbkappen in die gleiche Höhe zu bringen.

Wurde nunmehr das Gewölbe *II* eingeſchalt und traten alsdann die Schalungen der Gewölbkappen *I* in rechtwinkeliger Richtung gegen die Ebene des überhöhten

Fig. 421.

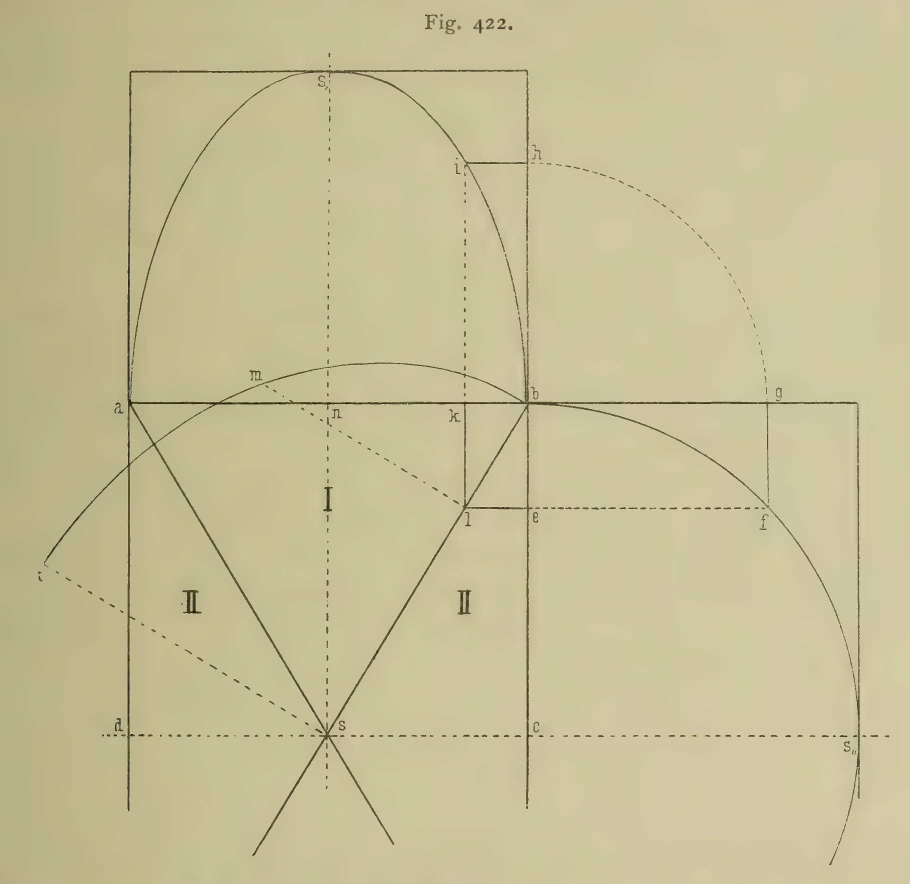


Stirnbogens ab, z. B. nach $b_{,}n$, ſo ergaben ſich danach Schnittlinien fns, bezw. ros der Gewölbkappen, welche in ihrer Grundriſsprojection nicht den Richtungen der Diagonalen des Rechteckes folgten, ſondern als krumme Linien auftraten. Auſserdem beginnen dieſe Schnitt- oder Gratlinien erſt in der Höhe bd, bezw. bc über der Kämpferebene, und in Folge hiervon entſpringt an den langen Stirnſeiten des Raumes ein Stück einer lothrechten Wand bed, entſprechend dem Ohr für eine Stichkappe *I*. Kommen auch derart geſtaltete Kreuzgewölbe mit doppelt gekrümmten Gratlinien vor, ſo ſind dieſelben doch weder in techniſcher Beziehung, noch in Rückſicht auf architektoniſche Anforderungen als beſonders beachtenswerth hinzuſtellen.

Behält man im Auge, daſs die Ausmittelung der Diagonalbogen in früheſter

Zeit nicht durch befonderes Aufzeichnen, fondern gleich praktifch bei der Herrichtung der Unterfchalung der Gewölbkappen erfolgt fein wird, fo liefse fich unter der Bedingung, dafs diefe Gratbogen in ihrer Richtung den Diagonalen des Rechteckes folgen follen, zunächft auf der Schalung des gröfseren Tonnengewölbes *II* diefe Richtung, z. B. als *as*, vorreifsen. Würde man nunmehr fchmale Schalbretter oder Wölblatten, z. B. $q_, p_,$ $u_, v_,$ von der Schnürlinie *as* für den Diagonalbogen nach dem aufgeftellten, überhöhten Stirnbogen der Seite *ab* in der Weife treten laffen, dafs die Endpunkte *q* und *p*, bezw. *u* und *v* der einzelnen Schallatten für fich eine gleiche Höhe über der Kämpferebene erhalten, fo divergiren wohl diefe Latten und ftehen auch mit Ausnahme der Scheitellatte nicht mehr rechtwinkelig zur Stirn-

Fig. 422.



ebene *ab*; aber die Ausführung der Wölbung der Kappen *I* auf diefer Schalung, welche zwifchen ihren Endauflagern noch irgend eine einfache, jedoch hinreichend ftarke Unterftützung erhalten konnte, ift möglich. Unterhalb der Linie *xz*, bezw. *ag* würden alle Schallatten in die Ebene des Diagonalbogens *as* fallen; mithin mufs in diefer Ebene eine lothrechte Wand $ax_{,,}z_{,,}$ entftehen. Auch derartige Anordnungen find bei Kreuzgewölben, aus Bruchftein- oder Backfteinmaterial hergerichtet, anzutreffen.

Wie die Ausmittelung der Hauptftücke folcher Kreuzgewölbe im Sinne der darftellenden Geometrie zu erfolgen hätte, ift aus der Abbildung zu entnehmen.

Bei verhältnifsmäfsig fchmaler rechteckiger Grundfläche muffte die dann bedeutende Ueberhöhung des halbkreisförmigen kleineren Stirn- oder Randbogens bei

diefer Durchbildung der Kreuzgewölbe jedoch in Verbindung mit dem bezeichneten lothrechten Wandftücke in der Ebene des Grat- oder Diagonalbogens fich unangenehm geltend machen fowohl bei der Ausführung der Gewölbe, als auch in Rückficht auf die architektonifche Wirkung derfelben.

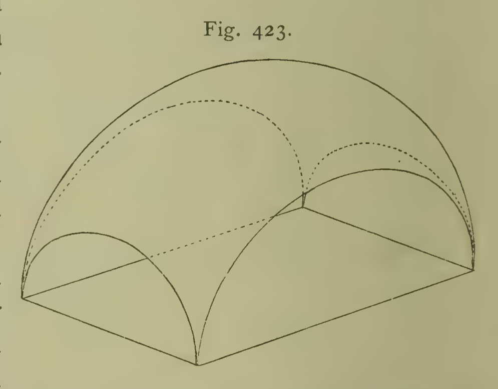
Um diefe Uebelftände zu befeitigen, konnte nur eine Umformung der Randbogen der in das halbkreisförmige Haupttonnengewölbe tretenden Gewölbkappen vorgenommen werden. Unter Beibehaltung gleich hoch liegender Scheitellinien der Gewölbkappen und der Richtung der Gratbogen, entfprechend den Diagonalen des Rechteckes, entftand alsdann für die vom Halbkreife des Hauptgewölbes abhängige Wölblinie der eingefügten Gewölbkappen eine halbe Ellipfe. Diefelbe ergab fich wiederum durch entfprechendes Auflagern von Schalbrettern, welche, wie lk in Fig. 422, rechtwinkelig zur Stirnfeite ab und in wagrechter Lage nach der vorgeriffenen Linie bs des Diagonalbogens, auf die Schalung des Hauptgewölbes gebracht wurden.

War die Wölblinie für die lange Seite des Rechteckes ein Halbkreis, fo wurde die Wölblinie der fchmalen Seite eine halbe fog. überhöhte Ellipfe, während umgekehrt bei der Halbkreislinie der kleinen Seite für die lange Seite eine halbe fog. gedrückte Ellipfe entftehen muffte. Beide Gewölbarten kommen bei Bauwerken der romanifchen Kunft vor.

Wie das Feftftellen der Wölblinien und Gratbogen durch Zeichnung zu gefchehen hat, ergiebt fich ohne Weiteres aus Fig. 422.

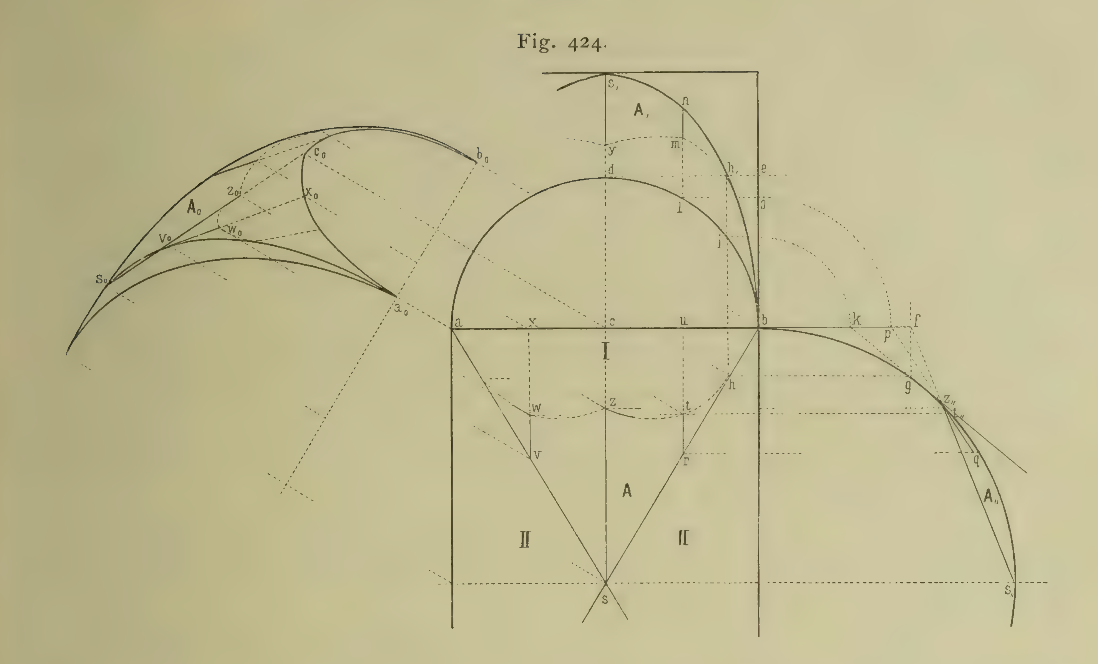
Hatte man auch in der fog. Stutzkuppel (Fig. 423) eine Gewölbebildung, welche fich für die Ueberdeckung rechteckiger Räume als äufserft zweckmäfsig erwies und wobei auch die Randbogen für die Stirnen als Halbkreife beftehen, fo konnte diefe Form allein den Anforderungen, welche beim Kreuzgewölbe gemacht wurden, doch nicht genügen. Von eigentlichen, fich befonders auszeichnenden Gratbogen ift auf diefer Wölbfläche an und für fich keine Spur vorhanden. Sollten diefelben gekennzeichnet werden, fo mufften, wie auch mehrfach gefchehen, folche Bogen als Zierrath in die Kugelfläche eingefügt oder auf derfelben in irgend einer Weife, z. B. durch Putz angebracht werden. Mit der eigentlichen Conftruction diefer Gewölbe hängen derartige Gratbildungen nur untergeordnet zufammen.

Fig. 423.



Der überhöhte Halbkreis und die Form der fog. überhöhten oder der gedrückten halben Ellipfe als Stirnbogen, bezw. als Wölblinien von Kappen der Kreuzgewölbe und endlich die Anwendung der Stutzkuppel für rechteckige Räume entfprachen noch immer nicht den Wünfchen, welche man bei der Anwendung von Kreuzgewölben hegte, oder befriedigten auch die befonderen baulichen Bedürfniffe nicht. Beim Fefthalten des Halbkreifes an fich für die Wölblinien der Kappen des Kreuzgewölbes ergab fich, dafs die Scheitellinie der Wölbkappen der kleineren Rechtecksfeiten überall keine gerade wagrechte Linie bleiben konnte, welche unmittelbar, wie Fig. 424 in $fs_{,,}$ zeigt, ohne das mit wagrechter Scheitellinie belaffene Hauptgewölbe II zu durchftofsen, vom Scheitelpunkte d des Randbogens der Ge-

Fig. 424.



wölbkappe *I* nach dem Scheitelpunkte $s_{,,}$ des Kreuzgewölbes zu führen wäre. Eben fo würde eine gerade Linie pq, welche einer zur Stirnebene ab rechtwinkelig ftehenden Ebene angehört, fo lange um p nach oben gedreht werden müffen, bis der Endpunkt q derfelben in den Diagonalbogen über bs, bezw. as gelangt. Die lothrechte Projection diefes Gratbogens in der Ebene des Stirnbogens $bs_{,,}$ deckt fich mit diefem Bogen, und man erkennt, dafs, fo lange irgend eine vom Randbogen adb nach dem Diagonalbogen geführte gerade Linie, welche in einer zugehörigen, rechtwinkelig zu ab genommenen Ebene liegt, nicht als Berührende an der Projection $bs_{,,}$ des Gratbogens, bezw. der Stirnlinie der langen Rechtecksfeite auftritt, ein Durchftofsen derfelben mit dem Hauptgewölbe *II* ftattfinden mufs. In der Zeichnung find die Projectionen mehrerer Durchftofspunkte und der fie verbindenden Durchftofslinie eingetragen. Sollte der Lage und Richtung der Linien $fs_{,,}$, pq u. f. f. gemäfs die Unterfchalung der Gewölbkappe *I* vorgenommen werden, fo würden fich danach auch praktifch die bezeichneten Durchftofslinien auf der Schalung des Hauptgewölbes ergeben.

Die Einwölbung der Kappe *I* auf einer folchen Unterfchalung würde äufserft bedenklich fein und ein häfsliches Anfehen gewähren. Würde aber die Oberfläche diefer Schalung in eine kugelförmige (fphäroidifche) Fläche durch befonders hergerichtete Unterlagerung oder durch eine Erdfchüttung, wie bereits in Art. 167 (S. 240) erwähnt, umgeftaltet werden, fo würde die Gewölbkappe *I* als eine fphäroidifche Stichkappe mit den cylindrifchen Gewölbkappen zu vereinigen und auszuführen fein. Diefe kugelförmige Gewölbkappe *I* tritt dann als eine fog. »Kappe mit Bufen« oder als »bufige Kappe« auf. Sie nähert fich dem Stücke der Oberfläche einer Stutzkuppel. Sie würde eine Kugelftichkappe fein, wenn, wie fchon beim Kloftergewölbe in Art. 207 (S. 308) näher gezeigt ift, auch die mit dem Halbkreife adb, dem Stirnbogen diefer Kappe, in a und b zufammentretenden Diagonalbogen ftatt in der Form der Halbellipfen als Halbkreife auftreten würden.

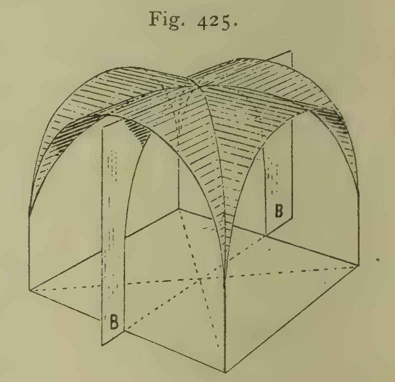
Durch die Einführung der bufigen Kappen bei den Kreuzgewölben ift ein be-

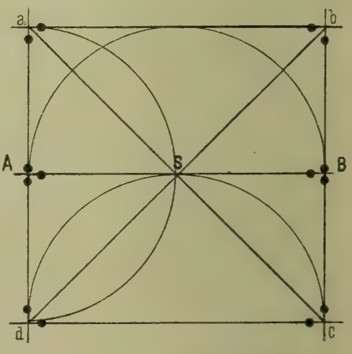
deutſamer Fortſchritt in der Geſtaltung derſelben eingeleitet. Schon die Form der halben Ellipſe als Diagonalbogen war nicht vortheilhaft, und eben ſo wenig günſtig für die architektoniſche Wirkung erſchienen bei quadratiſchem Grundplane und halbkreisförmigen Stirnbogen die wagrechten Scheitellinien des Kreuzgewölbes. Konnte man auch durch ein entſprechendes Höherlegen des Scheitelpunktes des Gewölbes und durch ein mäſsiges Anſteigen der Gewölbkappen von den Randbogen aus nach den Diagonalbogen, ſei es durch Auffütterung der Schalung oder durch Erdſchüttung auf derſelben eine leichter erſcheinende Gewölbebildung erzielen, ſo konnte doch bei rechteckiger Grundfläche, wenn nicht wieder auf elliptiſche Randbogen zurückgegriffen werden ſollte, auch das nach dem Scheitel hin ſteigende Kreuzgewölbe nicht entſprechend günſtig geſtaltet werden. Nahm man aber bei derart ſteigenden Gewölben nun bei rechteckigem Plane für ſämmtliche zuſammentretende Kappen eine Buſung derſelben in Anſpruch, ſo wurde es gleichgiltig, ob die Grundfigur ein Quadrat oder irgend ein Rechteck war.

Berückſichtigt man, welche Wege eingeſchlagen ſind, um Kreuzgewölbe über rechteckigen Räumen herzuſtellen, ſo iſt hier noch die Bildung des ſog. ſechstheiligen Kreuzgewölbes zu erwähnen.

Ein urſprünglich quadratiſcher oder nahezu quadratiſcher gröſserer Plan *abcd* (Fig. 425) wurde in ſeiner Mitte nach der Richtung *AB* nochmals durch einen Bogen geſchieden, deſſen Form den Randbogen über *ab*, bezw. *cd* entſprach. Derſelbe wurde bis zur Scheitellinie des Kreuzgewölbes übermauert und ſollte ſcheinbar als Stütze der elliptiſchen Diagonalbogen *ac* und *bd* dienen.

Fig. 425.





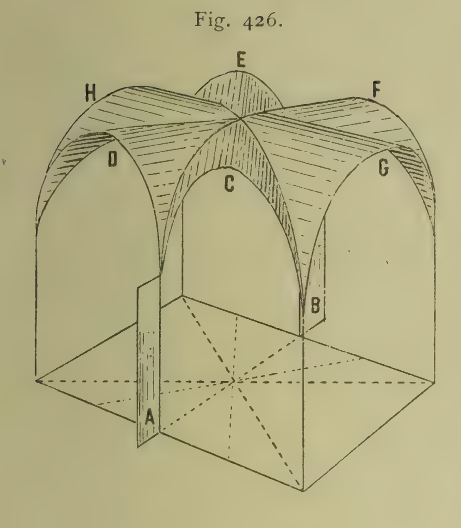
Durch das Einfügen des ſelbſtändigen Bogens *AB* entſtand aber eine Härte in der Erſcheinung des Gewölbes, welche ſeine Beſeitigung, da derſelbe ohnehin als Stütze ſich ziemlich unbrauchbar erweiſen muſſte, wünſchenswerth machte.

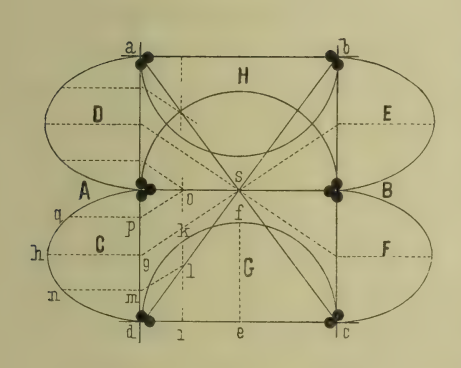
Legte man daher nach Fig. 426 in die Hauptkappen *G* und *H* des über *abcd* ſich erſtreckenden Kreuzgewölbes, von den langen Rechtecksſeiten ausgehend, je zwei Nebenkappen, welche die in der Gewölbfläche nicht als beſondere Bogen-Conſtruction ausgeführte Wölblinie über *AB* als gemeinſchaftlichen Randbogen enthielten, ſo ergab ſich hierdurch die Geſtaltung des Kreuzgewölbes mit ſechs Gewölbkappen oder das ſog. ſechstheilige Kreuzgewölbe.

Die hierbei eingefügten Nebenkappen erhielten bei den einfacheren Anlagen elliptiſche Randbogen. Wie dieſelben etwa mit Hilfe von Schallatten *op* und *lm* feſt gelegt werden konnten, ergiebt ſich aus der Zeichnung. So muſſte z. B. *pq*, bezw. *mn* gleich *ik* genommen werden.

Wenngleich die ſechstheiligen Kreuzgewölbe durch Umformung der Diagonal- und Randbogen, ſo wie durch Einführung von buſigen Kappen noch bei manchen Bauwerken zur Verwendung gelangten, ſo war dieſe Gewölbebildung doch weit weniger grundlegend für die Weiterentwickelung

Fig. 426.





der Geſtaltung von Kreuzgewölben über rechteckigen Räumen, als das eigentliche viertheilige Gewölbe mit buſigen Kappen.

Zwar ergab ſich zunächſt auch hierbei, daſs man, wenn alle Randbogen Halbkreiſe bleiben ſollten und wenn ferner an die Stelle der weniger erwünſchten Halbellipſe als Diagonalbogen der zweckmäſsigere Halbkreis gewählt wurde, um dadurch eine erhöhtere Lage des Scheitelpunktes des Gewölbes herbeizuführen, wieder im Allgemeinen auf die Form einer gewöhnlichen Stutzkuppel kam.

Hierbei verſchwanden alsdann aber die am Gewölbe ſonſt in charakteriſtiſcher Weiſe eine Ecke bildenden Gratbogen. Durch eine mehr oder weniger ſtark eingeführte Buſung der einzelnen Gewölbkappen ſtatt der Fläche der Stutzkuppel war aber ein Mittel geboten, den mit als weſentlich erſcheinenden Charakter des Kreuzgewölbes, eine Eckbildung der zuſammenſchneidenden Gewölbkappen an den Diagonalbogen zu zeigen, aufrecht zu halten.

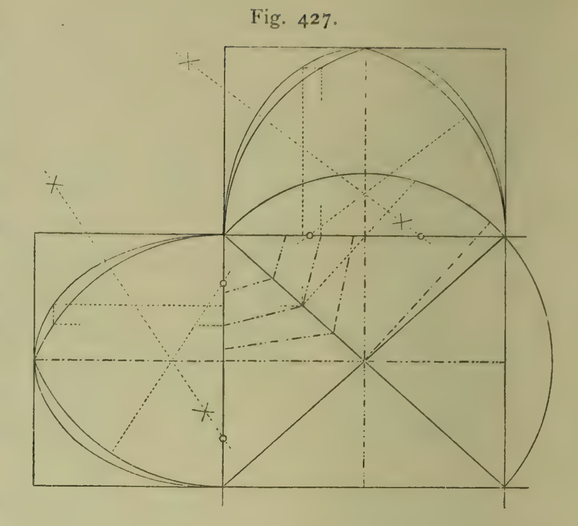
Die Einſchalung der Gewölbe mit buſigen Kappen war läſtig; eben ſo war die Herſtellung der buſigen Gewölbkappen aus gewöhnlichem Bruchſteinmaterial mühſam. Bei dieſem Material iſt längere Zeit hindurch ſtets eine Unterſchalung in Anwendung gekommen. Wenngleich das bei Herrichtung von Kuppelgewölben angezeigte freihändige Mauern ohne Benutzung einer Unterſchalung in ringförmigen Schichten nicht unbekannt geblieben ſein konnte, ſo war dieſe Wölbungsart doch nur in ſolchen Gegenden angezeigt, in welchen Backſteinmaterial oder ein geeigneter, leicht zu bearbeitender Kalkſtein oder Tuffſtein in ausreichender Weiſe vorhanden war. Für Bruchſteinmaterial muſste die Buſung der Kappen in den Hintergrund treten. Um aber die Diagonalbogen in ihrer Halbkreisform zu belaſſen, muſsten die Randbogen wieder als überhöhte Halbkreiſe oder als Halbellipſen eintreten. Dadurch blieben aber die früher erwähnten Uebelſtände bei der Geſtaltung der Kreuzgewölbe beſtehen, und um dieſe zu beſeitigen, dürfte die Einführung des bereits bekannten Spitzbogens als Randbogen ſtatt der geſtelzten Halbkreiſe oder der halben Ellipſen eine Folge geweſen ſein.

Bei quadratiſchem oder nahezu quadratiſchem Grundriſſe bleiben die Randbogen, deren Scheitel mit dem Scheitelpunkt der halbkreisförmigen Diagonalbogen in gleicher Höhe liegen, nach Fig. 427 noch ziemlich ſtumpfe Spitzbogen.

Wurden in der Richtung der Diagonalen ſtützende Lehrgerüſte aufgeſtellt, wurde gleichfalls für die Gewölbkappen unter weiterer Heranziehung der Unterſtützung der Randbogen, ſo wie einiger einfacher Zwiſchengerüſte eine genügend unterlagerte Schalung geſchaffen, ſo konnten auch aus Bruchſtein herzuſtellende Kappen leicht ausgeführt werden. Zunächſt fehlte dieſen Gewölben die Buſung. In

ftatifcher Beziehung übertrafen diefelben jedoch die Kreuzgewölbe, deren Randbogen geftelzte Halbkreife oder Halbellipfen waren, da bei der Spitzbogenform der Stirnbogen eine Verminderung des Seitenfchubes zum Vortheil der ftützenden Eckpfeiler des Gewölbes entftand.

Fig. 427.



Bei rechteckiger Grundform von mäfsiger Breite wurde der Spitzbogen der fchmalen Seite reichlich fteil, fobald fein Scheitel eine gleiche Höhenlage mit dem Gewölbfcheitel erhalten follte.

Um diefe lanzettartige Form eines folchen Spitzbogens im Allgemeinen nicht eintreten zu laffen, muffte entweder ein entfprechend ftumpfer gewählter Spitzbogen in feinen Fufspunkten lothrecht gehoben, alfo wiederum geftelzt werden, oder die Gewölbkappen mufften bei einem feft gefetzten ftumpferen Spitzbogen, deffen Scheitel tiefer blieb als der Gewölbfcheitel, als fteigende Kappen angeordnet fein, bezw. wieder mit Bufung ausgeführt werden.

Da der Verband der aus Bruchftein zu wölbenden Kappen über den Diagonalbogen nur ein wenig inniger fein konnte und nicht frei von Mängeln blieb, fo legte man zur Befeitigung der Unvollkommenheiten in der Ausführung des Gratbogenverbandes befondere Haufteinftücke für die Diagonalbogen ein, welche dann als wefentliche Factoren des Kreuzgewölbes in der Geftalt von Rippen, Anfangs weniger reich, fpäter mannigfaltiger, an ihrem vorfpringenden Theile gegliedert auftreten.

Durch die Aufnahme derartiger Rippen an Stelle der einfachen Randbogen, als felbftändige Beftandtheile des Kreuzgewölbes oder als feitliche Begrenzungen zufammengereihter Kreuzgewölbe, wobei alsdann die Rippen der Randbogen als Scheide- oder Gurtbogen durchgebildet werden konnten, trat in Vereinigung mit den Diagonalrippen ein vollftändiger Umfchwung in der Formbildung und Geftaltung der Kreuzgewölbe ein.

Das Rippenfyftem ift zum vorwiegenden Beftandtheil des Kreuzgewölbes erhoben. Daffelbe bildet die Trag- und Stütz-Conftruction für die dazwifchen liegenden Kappen, während die gefammte Belaftung der Ueberdeckung auf einzelne beftimmte Punkte, d. h. auf Pfeiler- oder Säulengebilde übertragen wird.

Diefe erweiterte Ausbildung des älteren romanifchen Kreuzgewölbes führte zur Entwickelung des gothifchen Kreuzgewölbes.

237. Gothifches Kreuzgewölbe.

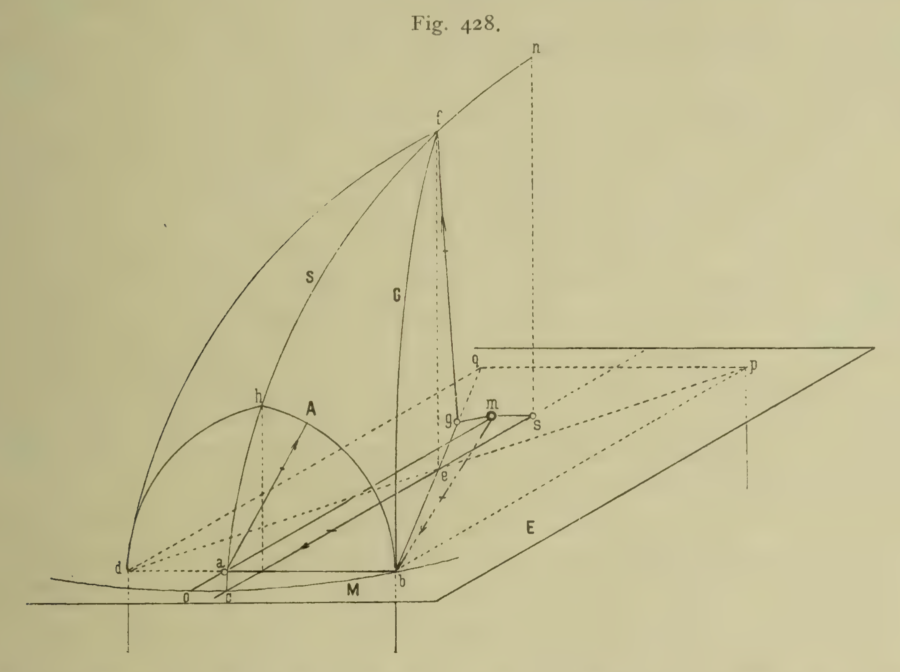
Mit der Einführung des Rippenfyftems ging Hand in Hand die Vervollkommnung der Ausmauerung der von den Rippen begrenzten und getragenen Kappen, fo wie der Technik der Wölbungskunft überhaupt. Die Rippen konnten als die eigentlichen Träger des Gewölbes für fich hergeftellt werden. War der günftige Spitzbogen für die Rippen der Randbogen einmal in Aufnahme gekommen, fo konnte derfelbe auch für die Diagonal- oder Kreuzrippen mit mehr oder weniger gehobenem Scheitelpunkte ftatt ihrer früheren Halbkreisform Benutzung finden. Die Kappenwölbung konnte zwifchen diefen Rippen eine weit geringere Stärke erhalten, als bei

den früheren Wölbungsarten. Die Schichtenlagen, anfänglich wohl noch der Längsaxe der Kappe folgend, konnten rechtwinkelig zur Diagonalrippe geführt und dabei, mit entſprechender Buſung verſehen, als einzelne Gewölbſtreifen eingefügt werden.

Im letzteren Falle konnten dieſe buſigen Kappen reinen Kugelflächen oder, wie bei etwa geſtelzten Stirnbogenrippen, kugelförmigen (ſphäroidiſchen) Flächen angehören.

Iſt z. B. *bdqp* in Fig. 428 die rechteckige Grundfläche eines Kreuzgewölbes, deſſen Scheitelpunkt *f* über dem Schnittpunkte *e* der Diagonalen *bq* und *dp* liegt, ſo möge *bhd* der aus zwei Kreisbogen beſtehende Spitzbogen der Seite *bd*, ſo wie *bf* der halbe, gleichfalls nach einem Kreisbogen gebildete Diagonalbogen über *be* ſein. Die beiden Kreisbogen *bh* als *A* und *bf* als *G* erheben ſich vom gemeinſchaftlichen Punkte *b* aus über der wagrechten Kämpferebene *E*. Die Mittelpunkte *a* für *A* und *g* für *G* ſind in *bd*, bezw. *bq* gleichfalls in dieſer Ebene *E* gelegen. Beide Kreisbogen gehören einer Kugelfläche

Fig. 428.



an, deren Mittelpunkt *m* in der Ebene *E* enthalten iſt, und von welcher ein gröſster Kreis *M* durch den gemeinſchaftlichen Schnittpunkt *b* der Kreisbogen *A* und *G* gehen muſs. Um den Mittelpunkt *m* zu beſtimmen, ſind in *g* auf *bq* und in *a* auf *bd* in der Ebene *E* Lothe zu errichten. Dieſelben ſchneiden ſich im geſuchten Punkt *m*. Die Gerade *mb* liefert den Halbmeſſer der Kugelfläche, welcher die Bogen *A* und *G* angehören. Der um *m* mit *mb* beſchriebene Kreis *M* iſt ein gröſster Kreis dieſer Kugelfläche. Hätte man in ganz ähnlicher Weiſe auch für die beiden Kreisbogen *dh* und *df* die Kugelfläche beſtimmt, welche im vorliegenden Falle denſelben Halbmeſſer, wie die erſte Kugelfläche, und ferner einen durch *d* gehenden gröſsten Kreis beſitzt, ſo ſchnitten ſich beide Kugelflächen in der Scheitellinie *hf* der Gewölbkappe *bfd*. Dieſe Scheitellinie *hf* gehört als Schnittlinie der gleichen und ſymmetriſch gelegenen Kugelflächen einem Kreisbogen *S* an, welcher durch den Scheitelpunkt *h* des Spitzbogens *bhd* und den Scheitelpunkt *f* des Gewölbes geht. Die lothrechte Ebene dieſes Kreisbogens trifft die Ebene *E* in der Geraden *ce*, d. h. in der wagrechten Projection der Scheitellinie der Gewölbkappe *bfd*. Auf dieſer erweitert genommenen Geraden iſt der Mittelpunkt *s* für den Kreisbogen *S* als Schnittpunkt des von *m* auf *cs* gefällten Lothes zu beſtimmen. Der Schnittpunkt *c* der Linie *cs* mit dem gröſsten Kreiſe *M* iſt der Endpunkt des Halbmeſſers *sc* des Kreisbogens *S*. Dem angegebenen Wege folgend, hätte man auch beim Feſtlegen der Spitzbogen der Seiten *bp* und *dq*, bezw. *pq* die Ausmittelung der zugehörigen Kugelflächen vornehmen können.

Die Ausführung der einzelnen Kappen in ringförmigen Streifen der ihnen angewieſenen Kugelflächen iſt leicht zu bewirken und kann freihändig ohne eine

Unterfchalung erfolgen. Jede Kappe erhält dann ohne Weiteres eine den ermittelten Kugelflächen entfprechende Bufung. Sind die Randbogen geftelzt, während die Diagonalbogen nicht geftelzt find, fo liegen die Mittelpunkte der benutzten Kreisbogen in verfchiedenen Ebenen. Die Gewölbkappen erhalten dann als Laibungsflächen nicht mehr die reinen Kugelflächen, fondern kugelförmige Flächen, welche aber bei nicht zu bedeutender Stelzung der Randbogen doch nicht fehr erheblich von der Kugelfläche abweichen.

Das Rippenfyftem mit feinen bufigen Kappen und die Verwerthung des Spitzbogens bei der Formgeftaltung der Rippen befeitigte alle Einengungen in der Bildung der Kreuzgewölbe, welche beim römifchen und beim romanifchen Kreuzgewölbe fich noch geltend gemacht hatten.

Wie auch die zu überdeckenden Raumabtheilungen oder Gewölbfelder in ihrer Grundrifsform befchaffen fein mochten, regelmäfsig oder unregelmäfsig, das gothifche Kreuzgewölbe geftattete bei einer ausgiebigen Freiheit in der Behandlung eine zweckmäfsige Anordnung und eine gediegene Ausführung der geplanten Wölbung. Zur Einfchränkung der Gröfse der Gewölbkappen, zur Herbeiführung einer mäfsigen Stärke derfelben und zur Erzielung einer reicheren Entfaltung des Kreuzgewölbes konnte das tragende Rippenfyftem vervielfältigt werden. Gefetzmäfsig geordnet, führte daffelbe auf das fechstheilige, acht- oder mehrtheilige Kreuzgewölbe. Traten die einzelnen, in gröfserer Anzahl vorhandenen Rippen in ihrem Grundriffe fternartig geordnet zufammen, fo bildete fich das fog. Sterngewölbe. Durchfchnitten fich die vielfachen Rippen netzartig, zwifchen fich eine Menge Mafchen oder Zellen laffend, welche nunmehr nicht befondere Theile eines gewöhnlichen cylindrifchen Tonnengewölbes, wie in Fig. 277 (S. 164), bildeten, fondern in geeigneter Weife mit bufigen Kappen, welche fich gegen die umrahmenden Rippenftücke legten, gefchloffen wurden, fo entftand das fog. Netzgewölbe.

Alle diefe Wölbungen zeigen während ihrer Entwickelung und Anwendung die gröfste Mannigfaltigkeit und einen bedeutenden Reichthum in der Anordnung ihrer Rippenfyfteme. Die Sucht nach immer reicheren Formen in der Geftaltung diefer Gewölbe führte zu den üppigften, ja zuweilen phantaftifchften Durchbildungen, die, wenn auch in mancher Beziehung überrafchend und lehrreich, doch zuweilen äufserft willkürlich erfcheinen mufften.

Trotz des Aufwandes von vielem Fleifs und grofser Kunftfertigkeit wurde die Harmonie derartiger Gewölbanlagen, welche der Spätzeit der Gothik angehören, doch ftark beeinträchtigt.

Die Kreuzgewölbe, diefe wichtigen und hervorragenden Gewölbbildungen des romanifchen und des gothifchen Bauftils, laffen fich nach dem Vorhergegangenen, um für die in der Jetztzeit zu fchaffenden Kreuzgewölbe die Conftructionen überfichtlich befprechen zu können, in zwei Hauptgruppen zerlegen:

1) in Kreuzgewölbe mit vorwiegend cylindrifchen Gewölbkappen oder die cylindrifchen Kreuzgewölbe, wie folche bei dem römifchen und dem älteren romanifchen Gewölbe vorhanden waren, und

2) in Kreuzgewölbe mit Rippenfyftem und dazwifchen gewölbten Kappen, welche das eigentliche gothifche Kreuzgewölbe bilden.

Beide Gewölbarten follen in ihrer befonderen Conftruction in Folgendem näher behandelt werden.

14. Kapitel.

Kreuzgewölbe im Befonderen.

a) Cylindrifche Kreuzgewölbe.

1) Geftaltung der cylindrifchen Kreuzgewölbe.

238. Geftaltung.

Die Geftaltung der cylindrifchen Kreuzgewölbe ift in den allgemeinen Grundzügen in Art. 235 (S. 339), bezw. Art. 236 (S. 341) befprochen und in Fig. 419 bis 422 veranfchaulicht worden.

Bei diefen Gewölben ift im Befonderen, fo weit eine einfachere Geftaltung derfelben berückfichtigt wird, zu bemerken, dafs

α) die Anzahl der Gewölbkappen der Seitenzahl des Grundriffes des zu überwölbenden Raumes entfpricht;

β) die Stirnbogen oder Leitlinien diefer Kappen in der Regel fämmtlich eine gleiche Pfeilhöhe erhalten;

γ) die Axen der Kappen gerade Linien find, welche fämmtlich in der wagrechten Kämpferebene liegen und, von den Mitten der wagrechten Projectionen der Stirnbogen auslaufend, fich in einem gemeinfchaftlichen Punkte der Grundrifsfigur des Gewölbes fchneiden; diefer gemeinfchaftliche Punkt ift die wagrechte Projection des Gewölbefcheitels; meiftens fällt derfelbe mit dem Schwerpunkte der Grundrifsfigur zufammen;

δ) die wagrechten Projectionen der Schnitt- oder Durchdringungslinien der Laibungsflächen der Gewölbkappen gerade Linien find, welche von den Ecken der Grundrifsfigur nach der wagrechten Projection des Gewölbefcheitels gezogen werden können; diefe Schnittlinien liefern die Diagonalbogen, Gratlinien oder Grate des Kreuzgewölbes;

ε) die an den Ecken der Grundrifsfigur zufammentretenden Stirn- und Gratlinien des Gewölbes ihren Gewölbefufs in der wagrechten Kämpferebene erhalten;

ζ) die Scheitellinien der Gewölbkappen gerade Linien find, welche vom Scheitelpunkte der Stirnbogen nach dem Scheitelpunkte des ganzen Gewölbes zu ziehen find; diefe geraden Linien find entweder wagrecht oder nach dem Gewölbefcheitel auffteigend; im letzteren Falle ift derfelbe höher liegend angenommen, als die Scheitelpunkte der Stirnbogen, fo dafs hierdurch das cylindrifche Kreuzgewölbe mit »Stechung« oder mit »Stich« entfteht.

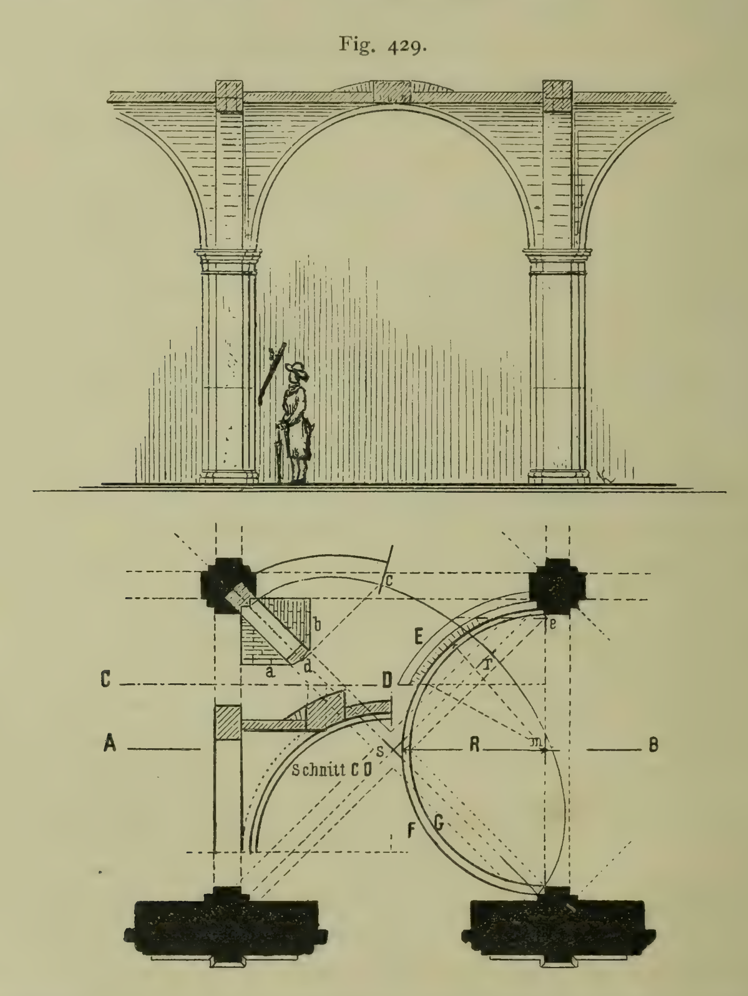
Die Grundrifsfigur eines cylindrifchen Kreuzgewölbes kann irgend eine ebene geradlinige, unter Umftänden auch eine gemifchtlinige, alfo hierbei eine von geraden und krummen Linien begrenzte Figur fein.

Je nachdem die Grundrifsfigur des Kreuzgewölbes regelmäfsig oder unregelmäfsig gebildet ift, unterfcheidet man auch regelmäfsige und unregelmäfsige Kreuzgewölbe.

Werden die Umfangsmauern des Raumes, welche fämmtlich als Stirnmauern des Kreuzgewölbes auftreten, den Rand- oder Stirnbogen entfprechend durch Gurtbogen offen gehalten, welche ihr Widerlager an befonderen Eckpfeilern des Raumes erhalten, fo entfteht das offene Kreuzgewölbe. Sind die Stirnmauern, abgefehen von darin befindlichen Thür- oder Lichtöffnungen, als eigentliche Umfangsmauern angeordnet, fo erhält man das gefchloffene Kreuzgewölbe.

Iſt die Kämpferebene eines Kreuzgewölbes, z. B. bei Treppenanlagen, eine geneigte Ebene, ſo entſteht das **anſteigende** Kreuzgewölbe. Sind die Wölblinien der Gewölbkappen flache, geſetzmäſsig gebildete ebene krumme Linien, ſo entwickelt ſich das **flachbogige** oder **flache** Kreuzgewölbe, auch **Kreuzkappengewölbe** genannt. So mannigfach die Geſtaltung des Kreuzgewölbes im Zuſammenhange mit der Form ſeines Grundriſſes und den grundlegenden Wölblinien der cylindriſchen Gewölbkappen auch vorgenommen werden kann, ſo bleibt doch immerhin die eigentliche Ausmittelung der Hauptbeſtandtheile des Kreuzgewölbes, d. h. der Stirnlinien und der Gratlinien, verhältniſsmäſsig einfach.

Fig. 429.

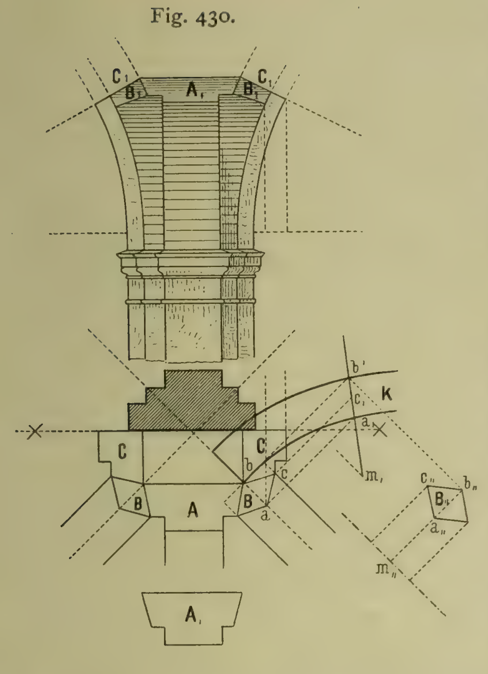


239.
Darſtellung des Kreuzgewölbes.

Am leichteſten ſind dieſe Ausmittelungen bei einem cylindriſchen Kreuzgewölbe über einem quadratiſchen Raume zu ſchaffen. Ein derartiges Kreuzgewölbe zeigt Fig. 429.

Die Stirnlinien, bezw. die Wölblinien der vier zuſammenſchneidenden Gewölbkappen mit ſich rechtwinkelig in s, dem Schnittpunkte der Diagonalen des quadratiſchen Grundriſſes, kreuzenden Axen, ſind durch den mit R um m beſchriebenen Halbkreis F beſtimmt. Bei der wagrechten Lage der Scheitellinien der ſämmtlichen Gewölbkappen ergiebt ſich die Form der Gratlinien über den Diagonalen des Raumes ohne Schwierigkeit je als eine halbe Ellipſe E mit der groſsen Axe gleich der wagrechten Projection der Gratlinie und der halben kleinen Axe gleich dem Halbmeſſer R der Stirnlinien. Die Gurtbogen des hier gegebenen offenen Kreuzgewölbes ſind ebenfalls Halbkreiſe. Dieſelben ſind mit dem

Fig. 430.



Halbmeſſer me beſchrieben, welcher um ſo viel kleiner als R genommen iſt, wie ſolches der Vorſprung der Vorlage innerhalb der Gurtbogenweite an den Widerlagspfeilern des Kreuzgewölbes bedingt.

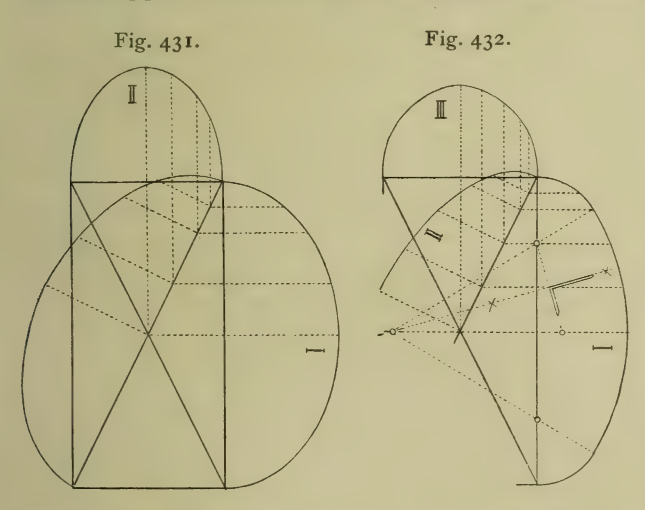
Nach Feſtlegen dieſer Beſtimmungsſtücke laſſen ſich, wie aus der Zeichnung hervorgeht, noch die Anſätze a, b der Gewölbkappe am Gratkörper d und eben ſo die Darſtellungen der Schnitte nach AB, bezw. CD leicht ermitteln.

Auch die Anordnung des Anſatzes der Körper der Gurt-, bezw. Stirnbogen und der Gratbogen am Widerlagspfeiler ergiebt ſich nach Fig. 430 unter Anwendung einfachſter Sätze der darſtellenden Geometrie ohne Schwierigkeit. Die Anſatzflächen A, C der Gurt- und Stirnbogen, ſo wie B des Grates gehören Normalebenen an. Für den Grat K iſt eine ſolche Ebene durch die Spur m, b, gekennzeichnet. Für die Gurt- und Stirnbogen iſt die zugehörige Normalebene ſo geführt, daſs die Schnittlinie derſelben am Rücken dieſer Bogen für die Flächen C, wie aus der Anſicht bei C, hervorgeht, dieſelbe Höhenlage wie der Punkt b, am Gratbogen erhält. Wird das ganze Anſatzſtück als ein beſonderes Werkſtück angefertigt, ſo ergiebt ſich ein ſog. Anfänger des Kreuzgewölbes. Die Brettungen $A_{,,}$, $B_{,,}$ für die Anſätze der vom Anfänger ausgehenden Gurtbogen, bezw. Gratbogen laſſen ſich nach den Angaben der Zeichnung austragen.

Hätte der zu überwölbende Raum einen rechteckigen Grundriſs erhalten, ſo müſſte die Ausmittelung der Stirn- und Gratbogen nach Fig. 422 (S. 343) erfolgen.

Wählt man bei quadratiſchen oder rechteckigen Grundriſſen von vornherein halbe Ellipſen als Stirnbogen, deren Pfeilhöhen gleich ſind, ſo ergeben ſich für die Gewölbkappen elliptiſche Cylinderflächen als Laibungsflächen. Die Gratlinie iſt, wie Fig. 431 ergiebt, wiederum eine halbe Ellipſe.

Fig. 431. Fig. 432.

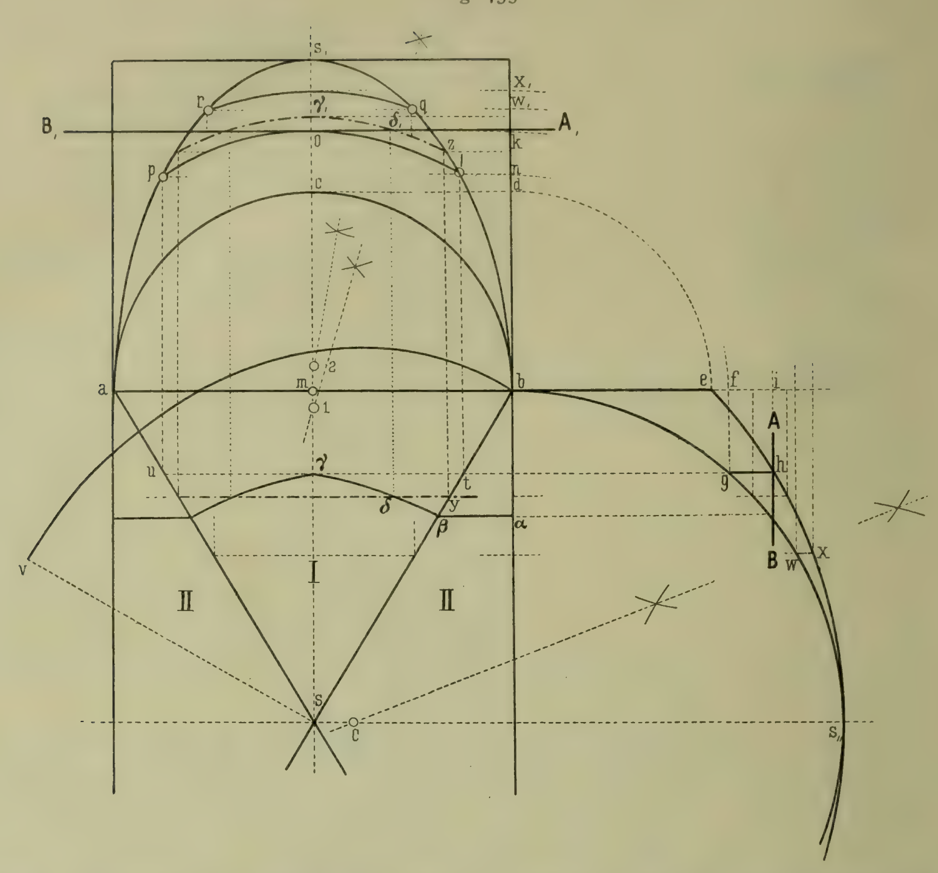


In ganz ähnlicher Weiſe würde man auch irgend eine andere geſetzmäſsig gebildete Curve, z. B. einen Korbbogen I (Fig. 432), als Stirnbogen für eine Seite der Grundfigur annehmen können und, unter Benutzung deſſelben als Grundbogen, den Stirnbogen III und den Gratbogen II auszutragen haben. In allen dieſen Fällen bleiben die Gewölbflächen allgemein immer cylindriſche Flächen, deren höchſte Erzeugende als Scheitellinien des Gewölbes gerade und wagrechte Linien ſind.

240.
Umgeſtaltung der cylindriſchen Kreuzgewölbe.

Kann bei quadratiſchem Grundriſs jeder Stirnbogen als Halbkreis auftreten und iſt danach beim ganzen Gewölbe die Durchführung gleicher cylindriſcher Gewölbflächen möglich, ſo iſt bei einem rechteckigen Grundriſſe jedoch, ſobald aus architektoniſchen

Fig. 433.



Gründen die Forderung geſtellt wird, daſs bei Stirnbogen für die lange Seite des Rechteckes ſowohl, als auch für die ſchmale Seite deſſelben ein Halbkreis verbleiben ſoll, eine Umgeſtaltung des cylindriſchen Kreuzgewölbes erforderlich. Auf dieſen Punkt iſt bereits in Art. 236 (S. 345) bei Fig. 424 hingewieſen. Hier ſoll die Umgeſtaltung derartiger Kreuzgewölbe unter Benutzung von Fig. 433 im Beſonderen behandelt werden.

Bei dem zur Hälfte gezeichneten rechteckigen Grundriſſe ſind die Stirnbogen als Halbkreiſe feſt gelegt. Auſserdem iſt vorgeſchrieben, daſs die Laibungsflächen der am weiteſten geſpannten Gewölbkappen *II* cylindriſche Gewölbflächen mit wagrecht liegenden Scheitellinien ſein ſollen. Wie bei Fig. 424 (S. 345) erwähnt, wird die Scheitellinie der Gewölbkappe *I* im Allgemeinen nicht als eine gerade Linie auftreten, welche unmittelbar vom Scheitelpunkte des kleinen Stirnbogens über ab nach dem Scheitel des Gewölbes über s aufſteigen könnte. Aus dieſem Grunde kann man zweckmäſsig die Scheitellinie über ms als einen Kreisbogen $es_{,,}$ annehmen, deſſen Mittelpunkt c im Schnittpunkt des auf der Mitte einer Sehne $es_{,,}$ errichteten Lothes mit der durch $s_{,,}$ gezogenen Senkrechten liegt.

Wie aus der Zeichnung zu erſehen, iſt be die lothrechte Projection der Pfeilhöhe des kleinen Randbogens, $s_{,,}$ die Projection des Scheitelpunktes des groſsen Stirnbogens und zugleich des Scheitelpunktes des Gewölbes ſelbſt. Der Gratbogen bv über bs, bezw. über as wird unmittelbar nach dem Grundbogen $bs_{,,}$ als Viertelellipſe gefunden. In der lothrechten Projection $bs_{,,}$ decken ſich Randbogen und Gratbogen als einer und derſelben vorhin beſtimmten cylindriſchen Fläche angehörend. Für die Erzeugung der Laibungsfläche der Gewölbkappe *I* kann nunmehr der folgende Weg eingeſchlagen werden.

Schneidet man die Gewölbfläche *I* durch eine lothrechte, parallel zu ab ſtehende Ebene ut, ſo

wird die lothrechte Projection $b s_{\prime\prime}$ der Gratbogen $b s$ und $a s$ in g und die lothrechte Projection $e s_{\prime\prime}$ der Scheitellinie in h von diefer Ebene gefchnitten. Die hier gewonnene Schnittlinie $g h$ fei die lothrechte Projection eines Kreisbogens, welcher in der Ebene $u t$ als Erzeugende der Gewölbfläche I auftreten foll. Zieht man durch g und h die wagrechten Linien $g f$, bezw. $h i$, trägt man $b n = b f$ und $b k = b i$ in der lothrechten Projection des Gewölbes über der Seite $a b$ ab, fo fchneidet eine durch n geführte wagrechte Linie die lothrechten Projectionen $a s_{\prime}$ und $b s_{\prime}$ der Gratbogen in den Punkten p und l, während eine durch k geführte wagrechte Linie $A_{\prime} B_{\prime}$ die lothrechte Projection $c s_{\prime}$ der Scheitellinie der Gewölbkappe I im Punkte o trifft. Der durch die erhaltenen drei Punkte p, l und o beftimmte Kreisbogen, deffen Mittelpunkt in 1 auf der lothrechten $s_{\prime} 1$ liegt, ift eine Erzeugende der Gewölbfläche I. In gleicher Weife ift auch für eine Ebene $w x$ der erzeugende Kreisbogen $q r$ mit dem Mittelpunkte 2 gefunden.

Die Gewölbfläche I wird hiernach eine kugelförmige (fphäroidifche) Fläche.

Ein wagrecht geführter Schnitt $A B$, bezw. $A_{\prime} B_{\prime}$ liefert die Schnittlinie $\alpha \beta \gamma$ u. f. f. Hiervon gehört die gerade Strecke $\alpha \beta$ der geraden Cylinderfläche II an, während die Curve $\beta \gamma$ der fphäroidifchen Gewölbfläche I zukommt. Ein Punkt δ diefer Curve liegt im Durchftofspunkte eines erzeugenden Kreisbogens z mit der Geraden $A_{\prime} B_{\prime}$, wobei gleichzeitig diefer Kreisbogen der lothrechten Ebene y angehört.

241. Kreuzgewölbe mit Stechung.

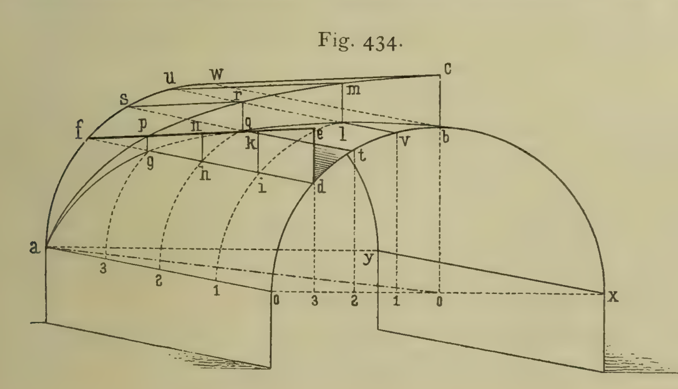
Bei diefer Anordnung der Gewölbflächen ift der Scheitelpunkt des Gewölbes in Bezug auf den höchften Punkt des Randbogens der Gewölbkappen I um ein Mafs $c s_{\prime}$ höher gelegt. Man bezeichnet diefes Anfteigen der Gewölbkappen, wie bereits gefagt, mit dem Namen Stechung oder Stich. Für die Kappen II tritt hier keine Stechung auf.

Das Mafs für die Höhe der Stechung kann nach Wunfch mehr oder weniger bedeutend genommen werden, je nachdem der Scheitel des Kreuzgewölbes in Bezug auf die Scheitelpunkte der Stirnbogen deffelben mehr oder weniger gehoben erfcheinen foll.

Ein ungefähres Mafs diefer Stichhöhe ift $1/20$ bis $1/30$ der ganzen Weite des gröfsten Gratbogens.

Bei den einfachen cylindrifchen Kreuzgewölben, gleichgiltig, welche Grundrifsform dabei vorliegt, kann man aber jeder Gewölbkappe eine Stechung geben. Dabei nimmt man in der Regel, ausgehend von einem einzigen Stirnbogen, die Pfeilhöhen fämmtlicher Stirnbogen gleich und geftaltet diefe Stirnbogen vollftändig abhängig vom gewählten Grundbogen. Die Erzeugenden der Gewölbflächen find von den Stirnbogen aus anfteigende gerade Linien, welche von entfprechend liegenden Punkten der Stirnbogen auslaufen. Diefe Linien liegen in lothrechten Ebenen, welche für jede Kappe parallel der Kappenaxe ftehen. Sie fchneiden fich in entfprechenden Punkten der Gratbogen von je zwei zufammentreffenden Kappen. Die höchften diefer erzeugenden Linien find die anfteigenden Scheitellinien der Kappen. Sie endigen fämmtlich im Scheitelpunkte des nunmehr durchweg mit Stechung verfehenen Kreuzgewölbes. Bei diefer Umformung der Gewölbflächen bleibt bei der beftimmt vorgefchriebenen Abhängigkeit der Stirnbogen und weiter auch der Gratbogen das Wefen der cylindrifchen Kreuzgewölbe noch gewahrt.

Fig. 434.

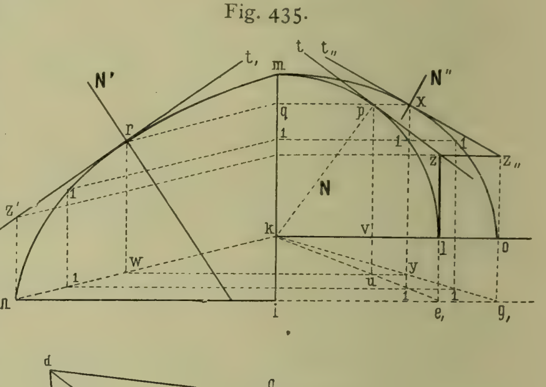


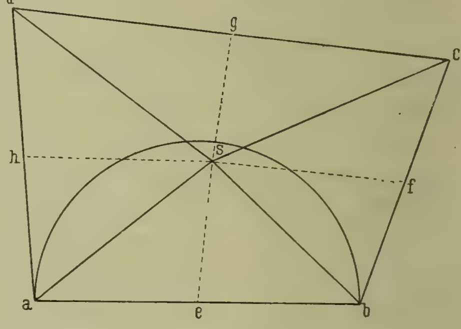
Ift $o a y x$ in Fig. 434 der Grundrifs der halbkreisförmigen geraden Cylinderfläche mit dem Stirnbogen $a w y$, bezw. $o b x$ und fchneidet man diefe Fläche durch die lothrechte Ebene $a o b$, fo ergiebt

fich als Schnittlinie die Viertelellipfe *agqlb*. Diefelbe kann als Gratlinie an einer halbkreisförmigen Kappe eines Kreuzgewölbes ohne Stechung angefehen werden.

Die höchfte Erzeugende oder die Scheitellinie diefer Kappe würde die wagrechte Linie *wb* fein. Soll nun der Punkt *b* um eine Höhe *bc* gehoben werden, fo nimmt die Scheitellinie die Lage *wc* an. Theilt man den Halbmeffer *oo* in beliebig viele gleiche Theile, z. B. hier in vier Strecken, ein und legt man durch diefe Theilpunkte *1*, *2*, *3* lothrechte, zu *oa*, bezw. zur Axe der Cylinderfläche parallele Ebenen, fo erhält man die wagrechten Erzeugenden *uv*, *st*, *fd* als Schnittlinien auf der Cylinderfläche. Läfft man nun wiederum jede diefer Erzeugenden, z. B. *fd*, für den Punkt *d* um die Höhe *de* gleich der für *wb* feft gefetzten Höhe *bc* heben, fo ift *fe* eine Erzeugende der mit Stechung behafteten neuen Cylinderfläche. Die Ebene *aob* fchneidet, gehörig erweitert, diefe neue Cylinderfläche in einem Ellipfenftücke *aprmc*. Einzelne Punkte diefer Curve laffen fich leicht beftimmen. Theilt man *oa* ebenfalls in fo viele gleiche Theile ein, als für *oo* genommen waren, alfo hier in vier Strecken, und legt man durch diefe Theilpunkte lothrechte, mit der Stirnebene *obx* parallel ftehende Ebenen, fo wird die urfprüngliche Cylinderfläche nach Halbkreifen gefchnitten, welche die Viertelellipfe *ab* der Reihe nach in den Punkten *g*, *q* und *l* treffen, während die Halbkreife *3*, *2* und *1* z. B. die Erzeugende *fd* in den Punkten *g*, *h* und *i* fchneiden. Entfprechend der anfteigenden Erzeugenden *fe*, bezw. *wc* der neuen Cylinderfläche mufs der Punkt *g* der Ebenen *3* und *3* um *gp*, der Punkt *q* der Ebenen *2* und *2* um $qr = hn$ und der Punkt *l* der Ebenen *1* und *1* um $lm = ik$ gehoben werden, um den proportionalen Theilungen der Strecken *oo* und *oa* entfprechend auch proportionale Höhen des Stechungsmafses *de*, bezw. *bc* für die neue Schnittlinie *ac*, bezw. für die Erzeugenden der neuen Cylinderflächen zu erhalten. Derartige Erzeugende find *fp*, *sr*, *um* und *wc*.

Fig. 435.





Bei cylindrifchen Kreuzgewölben mit Stechung über einem unregelmäfsigen Grundrifs erfolgt die Ausmittelung der Stirn- und Gratbogen nach dem gewählten Grundbogen gleichfalls in der eben befchriebenen Weife. Man kann fich dabei des in Fig. 435 benutzten Verfahrens bedienen.

Das unregelmäfsige Viereck *abcd* fei der Grundrifs eines cylindrifchen Kreuzgewölbes mit Stechung. Der Schwerpunkt *s* des Viereckes ift die wagrechte Projection des Scheitelpunktes des Gewölbes. Die von *s* nach den Ecken *a*, *b*, *c* und *d* gezogenen geraden Linien find die wagrechten Projectionen der Gratbogen. Für eine Seite *ab*, deren Länge etwa der durchfchnittlichen Länge von allen vier Seiten entfpricht, ift der Grundbogen des Kreuzgewölbes als Halbkreis angenommen. Die Axen der Gewölbkappen *se*, *sf*, *sg* und *sh* find gerade Linien, welche von *s* nach den Mitten der Seiten gezogen wurden.

Das Mafs der Stechung fei gegeben und gleich *ik*. Soll nun z. B. der Gratbogen über *cs* und ein Stirnbogen für die Seite *cd* ausgetragen werden, fo zeichne man das rechtwinkelige Axenkreuz *mi*, *ko*, wobei die Lothrechte *mk* gleich dem Halbmeffer *ea* des Grundbogens für die Seite *ab*, die Strecke *ki* gleich der gegebenen Stechung ift. Mit $km = ea$ befchreibe man den Viertelkreis *ml*; alsdann erhält man die Hälfte des Grundbogens. Durch *i* ziehe man eine wagrechte Linie $ng_,$, nehme $in = sc$ gleich der Weite des gefuchten Gratbogens über *cs*, und $ie_, = kl = km$ gleich dem Halbmeffer des Grundbogens. Zieht man $ke_,$ und *kn*, fo laffen fich mit Hilfe des Dreieckes $nke_,$ leicht die proportionalen Theilungen für den Grund- und Gratbogen, fo wie für die Stechungshöhe ermitteln.

Zieht man ganz beliebig die Linie *wu* parallel zu $ne_,$, fo wird *kn* in *w* und $ke_,$ in *u* gefchnitten. Führt man durch diefe Punkte parallele Linien zu *km*, fo trifft der Strahl *up* den hier nur zur Hälfte

gezeichneten Grundbogen ml im Punkte p. Führt man durch p die Gerade pq parallel zu ne, und durch den auf km gelegenen Punkt q eine Parallele qr zu kn, fo ift der Schnitt r diefes Strahles mit wr ein Gratbogenpunkt.

Ein in gleicher Weife geführter Linienzug $1 \ldots 1$ liefert den Gratbogenpunkt 1 u. f. f.

Nach der Zeichnung ift $vp = wr$. Wäre keine Stechung vorhanden, fo würde der Punkt r nur um das Mafs wr, bezw. vp über der wagrechten Linie (Kämpferlinie) ni liegen. Beim Vorhandenfein der Stechung ift aber die Strecke wr um daffelbe Mafs zu vermehren, als die wagrechte Linie wu, von welcher der Punkt r abhängig ift, über der Linie ni fich erhebt. Im Punkte n ift die Stechungshöhe gleich Null; im Punkte i ift diefelbe gleich ik. Proportionale Theilungen der Strecken kn und ke, durch die Strahlen wu, 11 u. f. f. liefern auch proportionale Stechungshöhen.

Für den Stirnbogen der Seite cd ift nur die Austragung feiner Hälfte nothwendig, da hiernach die andere Hälfte deffelben leicht hinzugefügt werden kann. Da für diefen Bogen keine Stechung, fondern nur eine proportionale Theilung feiner Weite in Frage kommt, fo wird zunächft $ko = ig_{,} = cg$ abgetragen und die Linie $kg_{,}$ gezogen. Der verlängerte Strahl wu fchneidet $kg_{,}$ in y. Die Lothrechte yx wird von der verlängerten Geraden qp, wobei p dem Schnitt der Geraden wu mit ke, entfpricht, im Punkte x des gefuchten halben Stirnbogens mo getroffen. In gleicher Weife ift für den Punkt 1 u. f. f. diefes Stirnbogens zu verfahren. Will man für die Punkte r und x, welche vom Punkte p des Grundbogens abhängig find, die Normale $N_{,}$, bezw. $N_{,,}$ feft legen, fo führt man in p die Tangente tz an den Bogen ml. Diefe Tangente trifft das in l auf kl errichtete Loth in der Höhe lz. Trägt man auf den Lothrechten $nz_{,}$ und $oz_{,,}$ diefe Höhe ab, fo dafs $nz_{,} = oz_{,,} = lz$ ift, zieht man alsdann die Strahlen $z_{,}t_{,}$ durch r und $z_{,,}t_{,,}$ durch x, fo find diefelben Tangenten in den Elementen r und x der zugehörigen Grat-, bezw. Stirnlinie. Die in r und x auf $z_{,}t_{,}$, bezw. $z_{,,}t_{,,}$ errichteten Lothe find die gefuchten Normalen in diefen Elementen. Nach diefen Angaben find in einem und demfelben Plane fämmtliche Grat- und Stirnbogen eines cylindrifchen Kreuzgewölbes mit Stechung ohne Schwierigkeit zufammenzutragen.

Bemerkt fei noch, dafs beim Halbkreife als Grundbogen der hiervon abhängig gemachte Gratbogen einer Ellipfe angehört, wofür bei der gewählten Stechung ik die Geraden kn und km halbe conjugirte Durchmeffer find. Die reellen Axen diefer Ellipfe können nach dem in Art. 135 (S. 176) Mitgetheilten ermittelt werden. Der Stirnbogen für cd wird hier eine Halbellipfe mit der halben grofsen Axe ko und der halben kleinen Axe km.

Wird ftatt der geraden Stechungslinie eine Bogenlinie in Anwendung gebracht, fo entftehen Kreuzgewölbe mit »Bogenftich«. Die Gewölbflächen werden alsdann fphäroidifch.

Die Ausmittelung der Grat- und Stirnbogen könnte, wie in Fig. 433 für die Gewölbkappe *I* gezeigt ift, für alle Kappen durchgeführt werden, oder diefelbe wird, wie Fig. 436 angiebt, vorgenommen. In derfelben ift gef eine Ecke irgend eines unregelmäfsigen Kreuzgewölbes. Für die Seite ef fei ein Halbkreis als Grundbogen für das Kreuzgewölbe gewählt. Die Scheitellinie der Gewölbkappe esf fei die beliebig angenommene Bogenlinie ik; diefelbe beftimmt den Bogenftich.

Um irgend einen Punkt o des Gratbogens C über t auf es zu beftimmen, zieht man durch t die Gerade tr parallel zur Axe si der Grundbogenkappe. Diefelbe ift die wagrechte Projection einer Erzeugenden diefer Kappe. Ihr Endpunkt am Stirnbogen befitzt die lothrechte Entfernung $r2 = b$ über der Kämpferebene, während ihr Endpunkt am Gratbogen eine Höhe $to = b + y$ über diefer Ebene annimmt. Der Zuwachs y von b entfpricht dem für den Gratpunkt o entftehenden Mafse des Bogenftiches. Um diefes Mafs zu erhalten, ift parallel zu ef eine lothrechte Ebene tw zu führen, welche für die Stechungslinie in Bezug auf is die Ordinate y liefert. Für den Stirnbogen B ergiebt fich unter Benutzung der von t parallel zu sm angegebenen Erzeugenden tv fofort die Höhenlage des Punktes 2 als $v2 = b$ über der Kämpferebene.

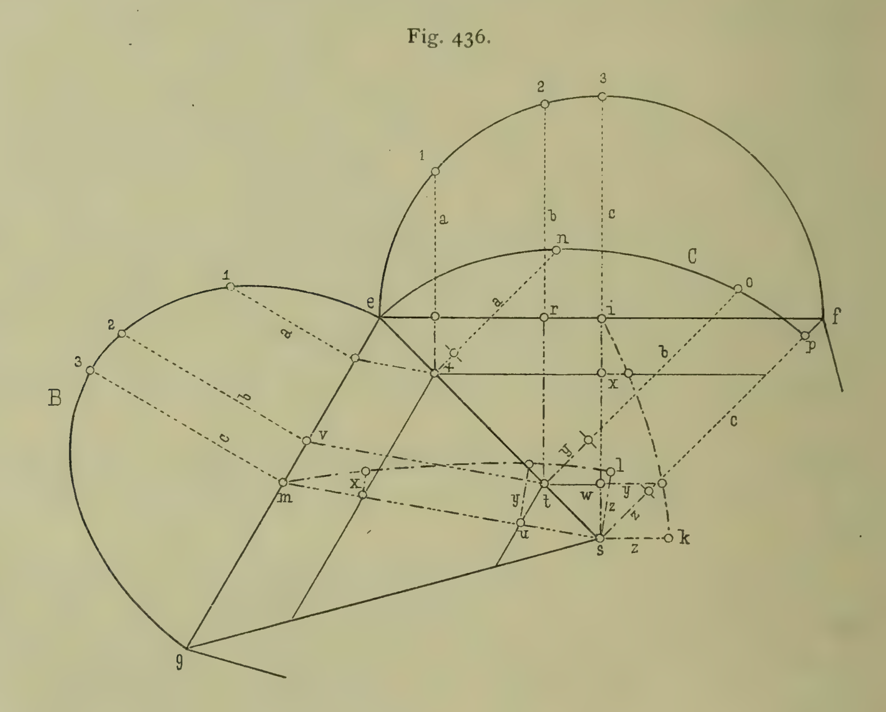
Unter Beobachtung der Bezeichnungen in Fig. 436 läfft fich die Beftimmung einer gröfseren Anzahl von Punkten des Gratbogens C, des Stirnbogens B und auch der Scheitellinie ml der zweiten Gewölbkappe esg ohne Weiteres treffen. Wäre hier ftatt der Bogenftichlinie ik eine gerade Stechungslinie gegeben, fo hätte das Austragen der Grat- und Stirnlinien unter Benutzung diefer Stechungslinie nach

einem gleichen Verfahren ſtattfinden können. Daſſelbe entſpricht der bereits in Art. 135 (S. 174) erwähnten ſog. Vergatterung.

242.
Kreuzkappen-
gewölbe.

Iſt der Grundbogen irgend ein Flachbogen, ſo iſt das Feſtlegen der Gratbogen, Stirnlinien, Scheitellinien u. ſ. f. für ein nun entſtehendes flaches Kreuzgewölbe oder Kreuzkappengewölbe mit oder ohne Stechung unter Benutzung einer geraden oder einer bogenförmigen Stechungslinie nach dem Vorgetragenen gleichfalls zu bewirken. Bei ſehr flachen cylindriſchen Kreuzkappengewölben treten die Grate mit nur geringer Ausprägung vor den Wölbflächen auf, wenn nicht vorweg eine groſse Stechungshöhe angenommen wird. Aus dieſem Grunde wählt man für derartige Gewölbe zweckmäſsig einen Bogenſtich, um dann ſphäroidiſche Gewölbkappen zu ſchaffen, welche die Form des Kreuzgewölbes zum ſchärferen Ausdruck bringen, als die cylindriſchen

Fig. 436.



Kappen. Für den Grundbogen dieſer Gewölbe kann man paſſend $^1/_3$ bis $^1/_4$ ſeiner Spannweite zur Pfeilhöhe annehmen.

243.
Steigende
Kreuzgewölbe.

Die ſteigenden Kreuzgewölbe finden bei Treppenanlagen mehrfach Anwendung. Ihre Geſtaltung richtet ſich vollſtändig, obgleich ihre Kämpferebene eine ſchiefe Ebene iſt, nach den für das Kreuzgewölbe mit wagrechter Ebene angeführten grundlegenden Ausmittelungen.

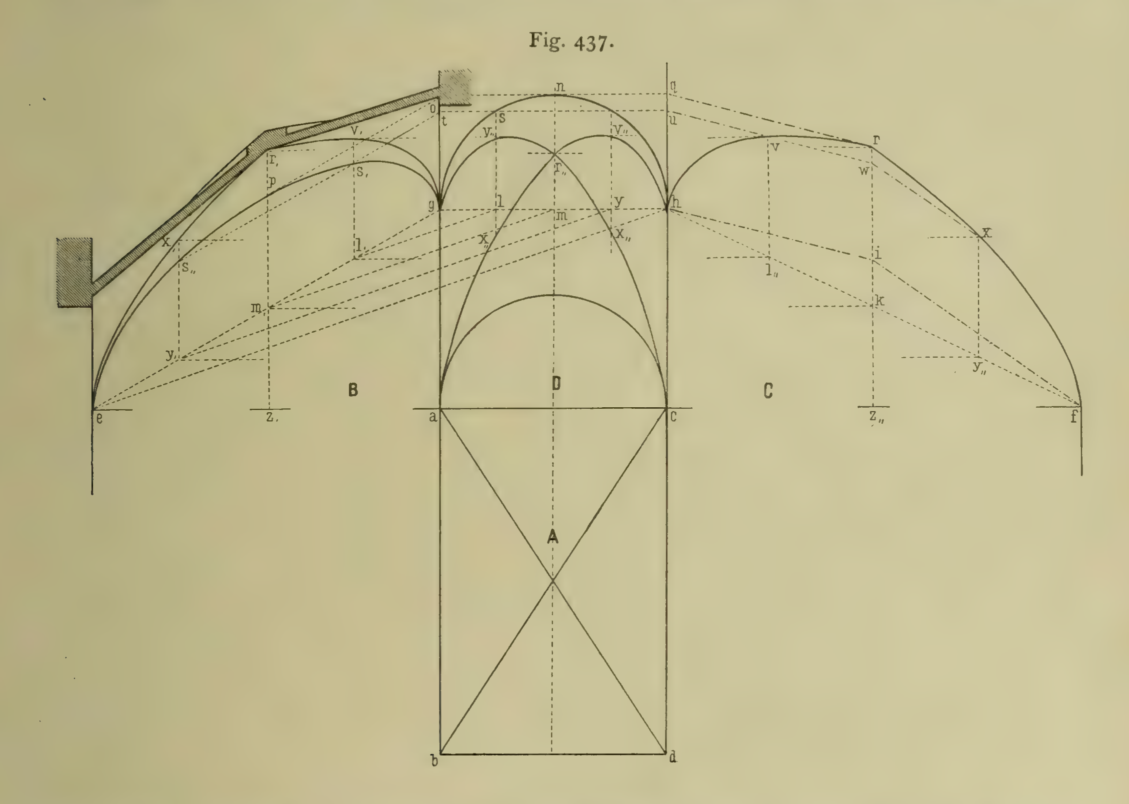
In Fig. 437 iſt die Entwickelung der Hauptſtücke für ein cylindriſches ſteigendes Kreuzgewölbe über einem rechteckigen Grundriſs mit einem Halbkreiſe als Randbogen für die kleinen Rechtecksſeiten *ac* und *bd* und einer Stichhöhe *ik* unter Benutzung der ſog. Vergatterung vollſtändig gegeben. Aus der Zeichnung ſind ohne Weiteres die Beſtimmungen der Gratbogen in *C*, der Stirnbogen über *ab* und *cd* in *B*, ſo wie die Anhaltspunkte für die Darſtellung der Projection der Gewölbflächen in *D* zu entnehmen.

Steigende Kreuzgewölbe können gleichfalls eine Geftaltung als flache fteigende Kreuzkappen erhalten. Dann find jedoch hierfür wieder paffender, ftatt cylindrifcher Kappen, folche mit Bogenftich anzuwenden. Daffelbe gilt auch für fteigende Kreuzgewölbe mit verhältnifsmäfsig grofser Längenausdehnung, damit alsdann bei diefen Gewölben die Gratlinien fcharf ausgeprägt erfcheinen.

244.
Kegelförmige Kreuzgewölbe.

Bei Kreuzgewölben über quadratifchen Grundriffen find beim Feftftellen der fämmtlichen Stirnbogen als gleiche Halbkreife die Laibungsflächen der Gewölbkappen oft zweckmäfsig je für fich als Flächen eines geraden Kegels mit wagrechter, in der Kämpferebene liegender Axe einzuführen. Diefe Ueberleitung der cylindrifchen Gewölbflächen in Kegelflächen bietet einige Vortheile. Die Gratbogen treten mehr fpitzbogenartig auf und erfcheinen freier gehoben, als die Gratbogen der felbft mit

Fig. 437.



Stechung behafteten cylindrifchen Kreuzgewölbe über quadratifcher Grundfläche. In Folge hiervon ift auch das Emporfteigen der Kappenflächen ausdrucksvoller.

In Fig. 438 ift die Geftaltung eines folchen Kreuzgewölbes für den quadratifchen Grundrifs *abcd* entwickelt.

Der durch die Ecken *abd* des Grundriffes gelegte Halbkreis mit dem Halbmeffer *sa* foll für die zu erzeugenden Kegelflächen mafsgebend werden. Die Kegelaxe *X* geht durch *s*, d. i. durch die wagrechte Projection des Scheitelpunktes des Gewölbes, und fteht rechtwinkelig auf der Seite *ac*. Das in *s* auf der Axe *X* errichtete Loth trifft den bezeichneten Halbkreis in *e*. Die durch *e* und *a* bis *m* auf *X* geführte Gerade ift eine in der Kämpferlinie liegende äufserfte Seitenlinie; der Punkt *m* ift die Spitze des Kegels und die von *m* durch *c* bis *v* gezogene gerade Linie eine zweite äufserfte Seitenlinie deffelben.

Da aufserdem durch jede rechtwinkelig zur Kegelaxe geführte Ebene der Kegel nach einem Kreife, bezw. die Kegelhälfte nach einem Halbkreife gefchnitten werden foll, welcher für die Ebene *ac* der Stirnbogen des Gewölbes wird, fo ift nunmehr die in Benutzung zu nehmende Kegelfläche vollftändig beftimmt. Schneidet man diefe Kegelfläche nach *av* in der Richtung der Gratebene, fo wird die Schnittlinie eine

Ellipſe mit der halben groſsen Axe $ao = ov$ und der halben kleinen Axe op. Letztere ergiebt ſich mit Hilfe des Kegelſchnittes der Ebene rt, wie aus der Abbildung zu erſehen, als das Loth qo auf to.

Das Stück anb dieſer Ellipſe iſt der Gratbogen über as. Dieſem Ellipſenſtücke entſprechen auch

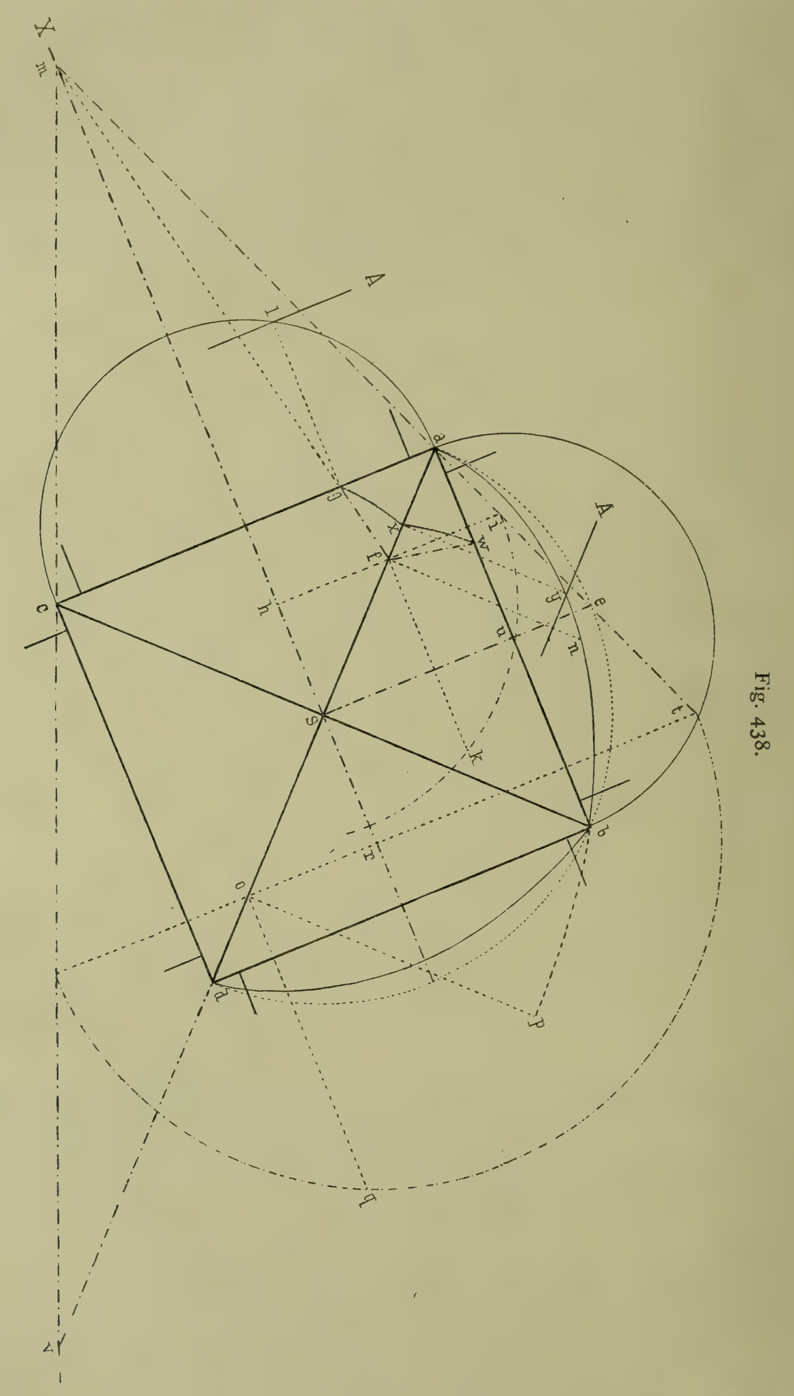


Fig. 438.

die Gratbogen über ds, bs und es. Zwiſchen denſelben liegen die Kegelflächen, welche ebenfalls der Kegelfläche über asc entſprechen, für welche die Ausmittelung vorgenommen wurde. Eine wagrechte Ebene A würde eine Schnittlinie mit der wagrechten Projection gxw liefern. Dieſelbe iſt, wie aus der Zeichnung hervorgeht, mit Hilfe der Projectionen der Erzeugenden mf, bezw. fw der ſich durchdringenden

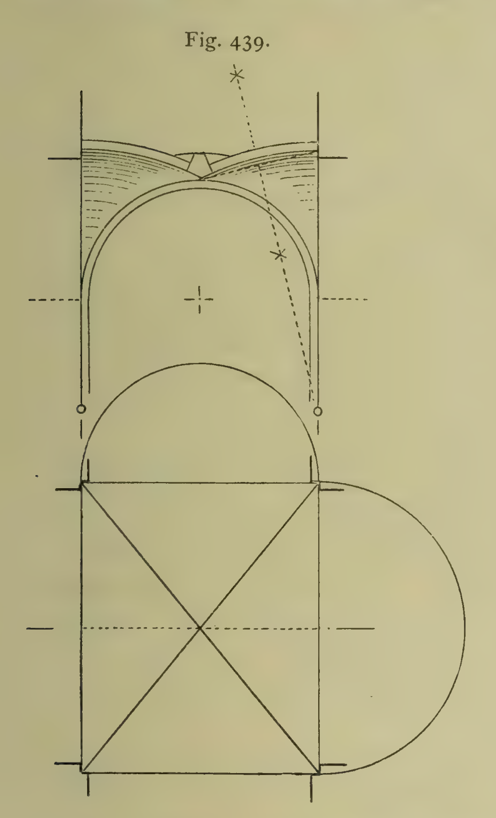
Kegelflächen leicht zu beftimmen. Bei der Gleichheit diefer Kegelflächen ift $ag = aw$. Noch fei bemerkt, dafs auch $fn = fk$ ift. Die Scheitellinien der Wölbflächen find offenbar Theile höchfter Seitenlinien der Kegelflächen, und danach ift die Stechungshöhe ue auch ohne Weiteres mittels der äufseren Seitenlinie ae zu erhalten.

Will man bei rechteckigen oder auch bei unregelmäfsigen Grundriffen kegelförmige Kappen mit cylindrifchen oder fphäroidifchen Gewölbflächen vereinigen, fo betrachtet man die Kegelfläche einer einzelnen Kappe als Ausgangsfläche und bringt alle übrigen Gewölbflächen davon in Abhängigkeit. Hierbei hat man nur wiederholt das im Vorhergehenden Gefagte in Anwendung zu bringen, fo dafs befondere Erörterungen hierzu nicht nöthig werden.

245.
Kreuzgewölbe mit gefenktem Scheitel.

Den Gegenfatz zu den Kreuzgewölben mit Stechung, bezw. mit wagrecht liegenden Scheitellinien bilden die Kreuzgewölbe mit gefenktem Scheitelpunkte. Diefer Punkt liegt alsdann entweder tiefer als die Scheitelpunkte fämmtlicher Stirnbogen, oder nur tiefer als die Scheitelpunkte einzelner Randbogen. Eine folche Geftaltung der Kreuzgewölbe kann wohl bei rechteckigen Räumen vorkommen, wenn alle Stirnbogen Halbkreife werden follen und die Länge des Rechteckes feine Breite nicht zu fehr überwiegt. Alsdann kann nach Fig. 439 die Scheitelhöhe des Randbogens der fchmalen Seite gleich der Scheitelhöhe des Gewölbes felbft genommen werden, fo dafs die Kappen der fchmalen Seiten geraden Cylinderflächen angehören. Da die Scheitelpunkte der Halbkreife der langen Seiten höher liegen, als der Gewölbfcheitel, fo fällt die Scheitellinie der Kappen diefer Seiten vom Stirnbogen nach dem Gewölbfcheitel ab. Diefe Kappen werden alsdann am zweckmäfsigften mit fphäroidifchen Flächen behaftet. Die Ausmittelung diefer Flächen kann entfprechend den in Art. 236 (S. 345), bezw. Art. 240 (S. 353) Gefagten erfolgen. Im Allgemeinen ift die Anordnung von cylindrifchen Kreuzgewölben mit gefenktem Scheitel von weniger günftigem Eindrucke begleitet, als diejenige, wobei den Gewölbkappen eine entfprechende Stechung gegeben ift.

Fig. 439.



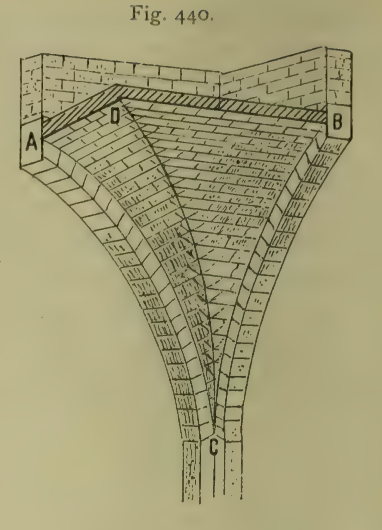
2) Stärke der cylindrifchen Kreuzgewölbe und ihrer Widerlager.

246.
Grundlagen.

Die Gewölbkappen der cylindrifchen Kreuzgewölbe find Theile eines Tonnengewölbes, welche in der Ebene der Grate in Verbindung, bezw. in einer Schnittfläche zufammentreten oder beffer an einem felbftändig ausgeführten Gratkörper ihr Widerlager finden. Wie das Zufammenfügen der Gewölbkappen auch vorgenommen wird, immer wird im Wefentlichen die Summe der im Gewölbfyftem eines Kreuzgewölbes durch fein Eigengewicht und feine Belaftung wach gerufenen Kräfte auf den in der Kämpferebene gelegenen Fufs der Gewölbkappen übertragen. Da für

die zufammengefügten Kappen die Fufsflächen fich ftreng genommen auf eine gerade Linie herabmindern würden, fo folgt, dafs bei den Kreuzgewölben in der Ausführung für den Gewölbefufs nicht eine Linie, bezw. eine Schneide, fondern eine wirkliche Widerlagsfläche mit darunter befindlichem Stützkörper zu fchaffen ift. Diefe Stützkörper, welche immer am Fufse der zufammentretenden Stirn- und Gratbogen, alfo, der Geftaltung des Kreuzgewölbes gemäfs, an den Ecken der mit Kreuzgewölben zu überdeckenden Räume oder an den Ecken der einzelnen Raumabtheilungen gröfserer Räume anzulegen find, bilden die Widerlager der Gewölb-Conftruction.

Fig. 440.



Wenn nun auch bei untergeordneten Kreuzgewölben, d. h. folchen Gewölben, welchen nur eine geringe Spannweite und aufser ihrem Eigengewichte keine weitere Belaftung zugewiefen wird, wie nach Fig. 440 angenommen wurde, ein einfaches Zufammenfügen der Gewölbkappen *A* und *B* in und an der Ebene des Gratbogens *D* möglich ift und hiernach ein Stützkörper am Gewölbefufs *C* unter Benutzung von befonderen Gurt- oder Scheidebogen des Gewölbefeldes oder Gewölbejoches in geeigneter Weife gebildet werden kann, fo ift doch bei den mit einigermafsen ausgedehnteren Spannweiten in gewöhnlichen Fällen zu fchaffenden Kreuzgewölben die Herftellung von befonderen Gratkörpern angezeigt, welche das Widerlager für die Gewölbkörper auf der ganzen Strecke ihrer an den Graten ftattfindenden Anlehnung bieten und in ihren Fufsflächen fich auf den eigentlichen Stützkörper legen. Diefe Körper der Grate werden zweckmäfsig als befondere Gewölbe mit geringer Tiefe, gleichfam als Träger der Kreuzgewölbkappen, in mehr oder weniger grofser Stärke felbftändig für fich ausgeführt oder entfprechend verftärkt mit dem Mauerwerk der Kappen in Zufammenhang gebracht. Immerhin find diefelben der Beftimmung unterworfen, den von den Gewölbkappen erzeugten Druck aufzunehmen und denfelben in Verbindung mit den in ihnen felbft wach gerufenen Druckkräften auf die vorhin bezeichneten Stützkörper oder eigentlichen Widerlager des gefammten Gewölbfyftems zu übertragen.

Aus diefen Gründen find zur Ermittelung der Stärke der Kreuzgewölbe und ihrer Widerlager Unterfuchungen anzuftellen, welche fich wefentlich zu erftrecken haben auf die Stabilität:

α) der Gewölbkappen,

β) der Gratbogen und

γ) der Widerlager an den Ecken des Gewölbes.

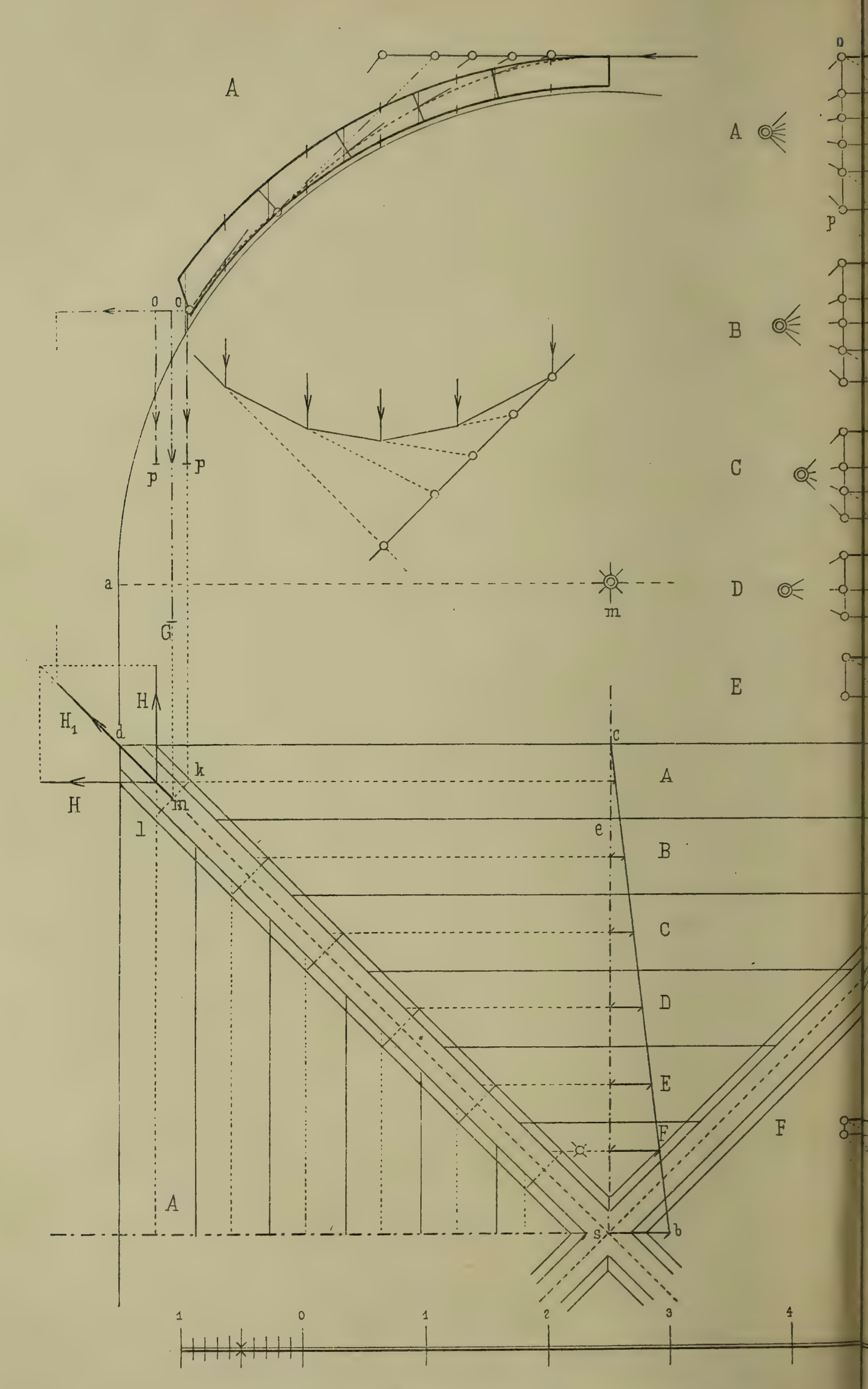
Hierzu kommt noch bei der befonderen Einwölbungsart der cylindrifchen Kreuzgewölbe auf Schwalbenfchwanz-Verband die Unterfuchung der Stabilität der Stirnmauern des Gewölbes.

α) Stabilität der Gewölbkappen.

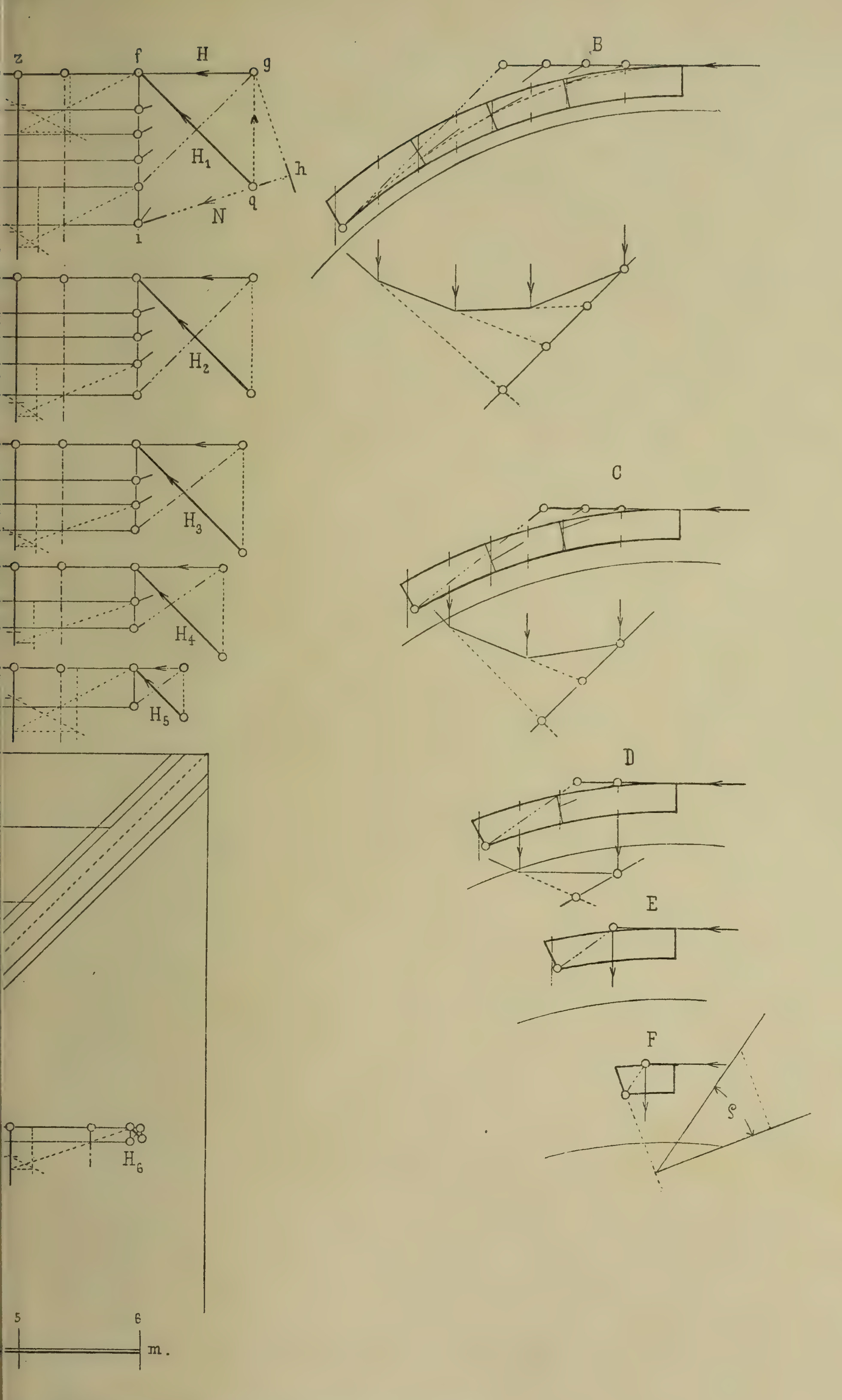
247. Verfahren.

Bei der Einwölbung der Gewölbkappen auf Kuf zerlegt man jede Kappe, einfchliefslich ihrer Belaftung, durch lothrechte und parallel zu ihrer Stirnmauer geftellte Ebenen in einzelne fchmale Elementarftreifen. Diefelben bilden kleine





Stabilitäts-Unterfuchung eines cylindrifchen



euzgewölbes über quadratiſchem Grundriſs.



Tonnengewölbe, die ihr Widerlager an den Gratbogen finden, welche die Kappen von einander fcheiden. Die ftatifche Unterfuchung jedes einzelnen Elementarftreifens kann alfo ganz in derfelben Weife, wie beim Tonnengewölbe in Art. 136 (S. 181) gezeigt wurde, erfolgen.

Bei der Einwölbung der Kappen auf Schwalbenfchwanz-Verband zerlegt man jede derfelben, einfchliefslich ihrer Belaftung, in Elementarftreifen, welche durch lothrechte und rechtwinkelig zum Grat geftellte Ebenen begrenzt find und fich auf der Scheitellinie jeder Kappe an einander lehnen. Jeder Elementarftreifen ift alsdann im Allgemeinen ein fchmales einhüftiges Gewölbe, deffen Stabilität nach dem in Art. 146 (S. 208) Gefagten geprüft werden kann.

248.
Beifpiel
1.

Die befondere Unterfuchung der Gewölbkappen foll nach diefen allgemeinen Grundlagen an einzelnen Beifpielen gezeigt werden.

Beifpiel 1. Der Grundrifs eines cylindrifchen Kreuzgewölbes mit Stechung (fiehe die neben ftehende Tafel) fei ein Quadrat von 8 m Seitenlänge. Die Stirnbogen find für alle vier Seiten Halbkreife mit dem Halbmeffer *ma*. Die Stechungshöhe des Gewölbes ift *sb*. Die Einwölbung erfolge mit Backfteinmaterial vom Eigengewicht 1,6 auf Kufverband. Die Breite der felbftändig aus Quadermaterial vom Eigengewicht 2,4 ausgeführten Gratbogen *ds* fei zu 0,40 m gewählt. Von einer befonderen fremden Belaftung des Gewölbes ift Abftand genommen. Ift folche vorhanden, fo wird das Wefen der Unterfuchung an fich nicht geändert. Die Elementarftreifen *A*, *B* . . . *F* der einzelnen Kappen mögen eine fonft beliebig genommene Breite befitzen; hier ift denfelben eine gleiche Breite *ce* gegeben.

249.
Rauminhalt
prismatifcher
Körper.

Um von vornherein die für die einzelnen Elementarftreifen bei den auf graphifchem Wege zu beftimmenden Gewichtsftrecken noch durch genau und deutlich darzuftellende Linien zu erhalten, felbft wenn die Breiten diefer Streifen von einander abweichen oder an fich ziemlich fchmal genommen find, oder wenn felbft das Eigengewicht der Streifen verfchieden wäre, kann ein einfaches Zufammenfügen einzelner graphifcher Conftructionen in Anwendung gebracht werden. Da diefe Conftructionen auch fpäter bei der ftatifchen Unterfuchung von Kuppelgewölben, bezw. von Kreuzgewölben mit bufigen Kappen benutzt werden, fo foll hier gleich eine allgemeine Behandlung der für die vorliegenden Zwecke erforderlichen graphifchen Ausmittelung der Linienwerthe für den Inhalt prismatifcher Körper, bezw. der Gewichtswerthe derfelben eintreten.

Ein prismatifcher Körper von der Breite *b* Met., der Höhe *h* Met. und der Dicke gleich 1 m befitzt den körperlichen Inhalt

$$V = b \cdot h \cdot 1 \text{ Cub.-Met.} \qquad 226.$$

Soll diefer Werth von V dargeftellt werden durch die Mafszahl einer Linie x, multiplicirt mit einer beliebig gewählten Mafszahl B (Bafiszahl, bezw. Bafis) einer anderen Linie, fo mufs

$$b \cdot h \cdot 1 = Bx, \qquad 227.$$

oder

$$\frac{x}{h} = \frac{b}{B} \qquad 228.$$

fein. Wie in Art. 143 (S. 197) angegeben, kann hiernach x bei gegebener Bafis B in bekannter Weife conftruirt werden. Befitzt nun ein prismatifcher Körper K (Fig. 441) eine Breite b Met., eine Höhe h Met. und eine mittlere Dicke d Met., fo ift fein Inhalt

$$v = b\, h\, d \text{ Cub.-Met.} \qquad 229.$$

Soll nunmehr diefer Werth durch die Mafszahl einer Linie w, multiplicirt mit der feft gefetzten Bafiszahl B, dargeftellt werden, fo ift

$$v = b\, h\, d = B\, w \qquad 230.$$

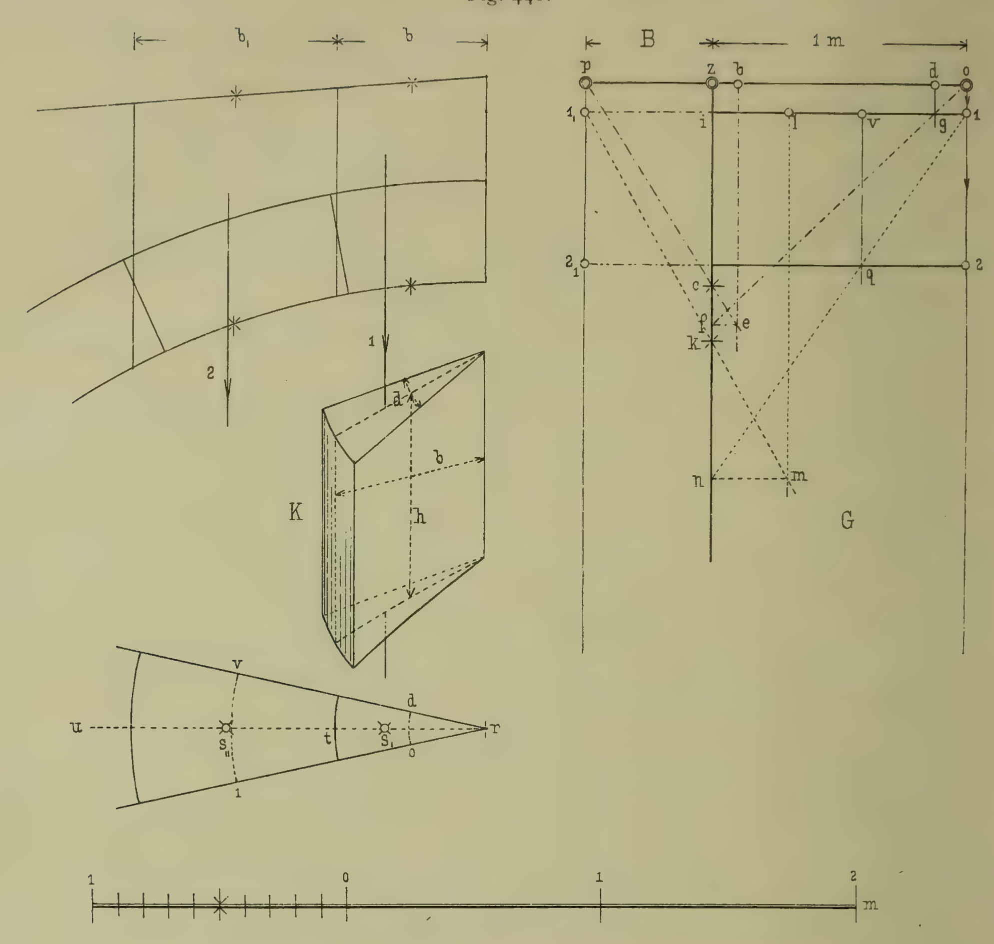
zu fetzen. Da aber nach Gleichung 227: $b\, h = \frac{Bx}{1}$ ift, fo wird auch

$$\frac{Bx}{1}\, d = Bw, \qquad 231.$$

woraus

$$\frac{x}{1} = \frac{w}{d} \qquad 232.$$

Fig. 441.



folgt. Sobald x gezeichnet ift, kann hiernach w gleichfalls durch Zeichnung gefunden werden. Beachtet man, dafs, je kleiner die Bafis B genommen wird, die Länge x und danach auch die Länge w defto gröfser erhalten wird, fo kann in jedem Falle ein entfprechend deutlicher Plan für jene Linienwerthe angefertigt werden. Ift weiter γ Tonnen das Gewicht von 1 Cub.-Met. des betrachteten Körpers, deffen Inhalt durch Bw ausgedrückt wird, fo ift fein Gewicht

$$G = Bw\gamma \text{ Tonnen} \quad \ldots \ldots \quad 233.$$

In der Zeichnung ift die Bafis $B = pz = 0{,}5$ m. Die Strecke zo ift gleich 1 m zu nehmen.

Durch p, z und o werden lothrechte Linien gezogen. Trägt man auf der Linie po die Breite $b = pb$ des Körpers ab, zieht man alsdann die Lothrechte be, fchneidet man auf der z-Linie die Strecke zc gleich der Höhe h des Körpers ab und zieht man durch p und c einen Strahl, bis derfelbe gehörig verlängert die durch b geführte Lothrechte in e fchneidet, fo ift be gleich dem Werthe x der Gleichung 228. Nimmt man nunmehr auf der z-Linie die Strecke $zf = be = x$, trägt man die mittlere Dicke d des Körpers auf der Linie po von o aus als $od = d$ ab und zieht man durch den Punkt d die Lothrechte, fo erhält man nach Führung des Strahles of fofort auf diefer Lothrechten den Schnitt g und in der Strecke dg den Linienwerth w. Denn es ift

$$\frac{zf}{1} = \frac{dg}{od}, \quad \text{d. h.} \quad \frac{x}{1} = \frac{w}{d},$$

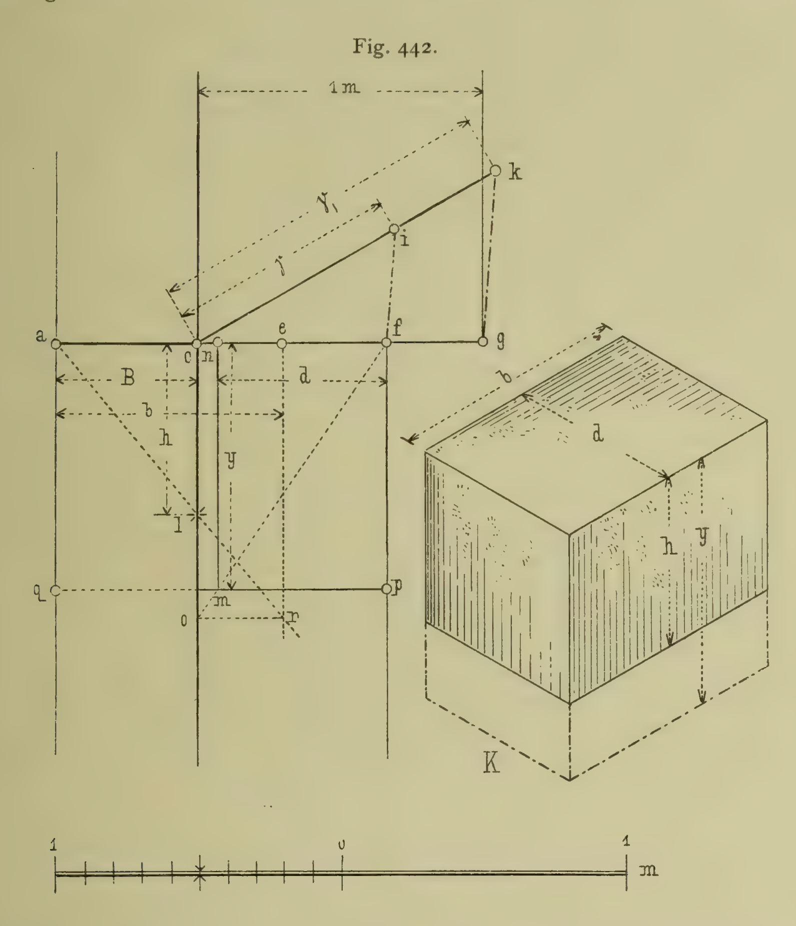
entfprechend der Gleichung 232. Zieht man durch g die Parallele $1\,1'$ zu po, fo ift auch $o\,1 = p1' = w$.

Fährt man unter Benutzung der Linie $1\,1$, in gleicher Weife, wie aus der Zeichnung erfichtlich, zur Beftimmung des Linienwerthes $w = vq = 1\,2 = 1{,}2$, für einen zweiten Körper fort, fo erhält man die Aneinanderreihung der für den Inhalt der Körper mafsgebenden Strecken.

Nach der Zeichnung ist $o\,1 = w = 0{,}11$ m. Da $B = 0{,}5$ m, so ist nach Gleichung 230 $v = 0{,}5 \cdot 0{,}11 = 0{,}055$ cbm. Wiegt 1 cbm 1,6 t, so ist nach Gleichung 233: $G = 0{,}055 \cdot 1{,}6 = 0{,}088$ t $= 88$ kg. Hiernach ist der Plan G auch ohne Weiteres als Gewichtsplan, bezw. als Kräfteplan zu verwerthen.

Sind die Inhalte, bezw. die Gewichte von einer Reihe nach einander zusammengefügter Körper, welche verschiedene Eigengewichte besitzen, in einem Gewichtsplane zusammenzutragen, so sind die einzelnen Gewichtsstrecken auf ein und dasselbe Eigengewicht, welches irgend einem einzigen gewählten Körper angehört, zurückzuführen. Dann kann die Bestimmung der Gewichtsstrecken nach Fig. 442 in folgender Weise geschehen.

Fig. 442.



Der Körper K, dessen Inhalt $V = b\,h\,d$ Cub.-Met. ist, besitze ein Gewicht γ_1 Tonnen für 1 cbm. Alsdann ist das Gewicht desselben

$$G = b\,h\,d\,\gamma_1 \text{ Tonnen} \quad . \quad . \quad . \quad 234.$$

Ist nun das zu Grunde zu legende Gewicht, welches für alle Körper bei der Ermittelung der Gewichtsstrecken eingeführt werden soll, gleich γ Tonnen für 1 cbm, ist ferner der gesuchte Linienwerth y von einer solchen Gröfse, dafs der Körper, welchem diese Strecke y zukommt, unter Multiplication mit der fest gesetzten Basiszahl B in seinem Inhalte v, entsprechend der Gleichung 230, durch By ausgedrückt erscheint, so ist sein Gewicht G_1 zu berechnen als

$$G_1 = B\,y\,\gamma \text{ Tonnen} \quad . \quad . \quad . \quad 235.$$

Soll nun G_1 dieselbe Gröfse wie G darstellen, so mufs nach den Gleichungen 234 u. 235

$$b\,h\,d\,\gamma_1 = B\,y\,\gamma$$

werden. Da nach Gleichung 227: $b\,h = B\,x$ zu setzen ist, so folgt auch $B\,x\,d\,\gamma_1 = B\,y\,\gamma$ oder

$$x\,d\,\gamma_1 = y\,\gamma.$$

Hieraus entspringt der Ausdruck

$$\frac{x\,d}{y} = \frac{\gamma}{\gamma_1} \quad . \quad . \quad . \quad 236.$$

Setzt man $\frac{\gamma}{\gamma_{\prime}} = \lambda$, d. h. auch

$$\frac{\gamma}{\gamma_{\prime}} = \frac{\lambda}{1}, \qquad \qquad 237.$$

fo läfft fich λ conftruiren.

Nachdem λ beftimmt ift, ergiebt fich nach Gleichung 236: $\frac{x d}{y} = \lambda$ nunmehr der Ausdruck

$$\frac{y}{d} = \frac{x}{\lambda}, \qquad \qquad 238.$$

wonach die gefuchte Strecke y durch Zeichnung ermittelt werden kann.

In Fig. 442 ift ac gleich der Bafis B und $cg = 1^{m}$ abgetragen. Auf der beliebig durch c gezogenen Linie ck ift nach einem fonft willkürlich genommenen Mafsftabe die Strecke ck gleich der Mafszahl von $\gamma_{\prime}$ und ci gleich der Mafszahl von γ abgefchnitten. Verbindet man k mit g und zieht zu kg die Parallele if, fo fchneidet diefelbe im Stücke cf die Länge λ ab. Denn es ift $\frac{\gamma}{\gamma_{\prime}} = \frac{cf}{1} = \frac{\lambda}{1}$, wie nach Gleichung 237 fein mufs.

Nimmt man nunmehr auf der Hauptlinie c, die durch den Endpunkt der Bafisftrecke B geht, cl gleich der Höhe h des Körpers, ferner auf der Geraden ag die Strecke ae gleich der Breite b des Körpers, und zieht man durch a und l den fog. Reductionsftrahl ar, fo erhält man in bekannter Weife die Länge er als den Linienwerth x. Nimmt man auf der c-Linie $co = er = x$, trägt fodann aber von f aus die Strecke fn gleich der Dicke d des Körpers auf fa ab, fo fchneidet ein Strahl fo die Lothrechte in n im Punkte m, und nm ift die gefuchte Linie y. Man hat der Zeichnung gemäfs

$$\frac{y}{d} = \frac{co}{cf}, \quad \text{d. h.} \quad \frac{y}{d} = \frac{x}{\lambda},$$

entfprechend Gleichung 238. Zieht man durch m die Parallele pq zu ag, fo ift auch $aq = fp = y$.

Das Gewicht des Körpers ift fofort zu beftimmen. Da $ci = \gamma = 1{,}6^{t}$ darftellt, $B = 0{,}5^{m}$ genommen ift und y nach der Zeichnung $0{,}86^{m}$ beträgt, fo ift nach Gleichung 235 diefes Gewicht $G_{\prime} = 0{,}5 \cdot 0{,}86 \cdot 1{,}6^{t} = 0{,}688^{t} = 688^{kg}$.

250. Beifpiel 1, Fortfetzung.

Nach diefen Ausführungen find die Gewichtsftrecken der Elementarftreifen A bis F auf der Tafel bei S. 363 beftimmt. Die Austragungen der Querfchnitte für die lothrechten Ebenen in der Mitte der Streifen unter Berückfichtigung der Stechung find mit den einfachften Mitteln der darftellenden Geometrie zu bewirken. Die Gewölbftärke ift zu einer Backfteinlänge, alfo gleich $0{,}25^{m}$, angenommen; die Breite der Streifen beträgt $0{,}6^{m}$. Die Bafis oz der Gewichtsftrecken ift zu $0{,}5^{m}$ gewählt. In hinlänglich befchriebener Weife find die Stabilitäts-Unterfuchungen diefer einzelnen Tonnengewölbftücke unter Annahme des möglichft kleinften Gewölbfchubes, wie aus der Zeichnung näher zu erfehen ift, durchgeführt.

Für den gröfsten Elementarftreifen A ergiebt fich der für den Gewölbfchub mafsgebende Werth der Linie gf zu $0{,}95^{m}$. Da die Bafis $0{,}5^{m}$ beträgt, fo würde fich der Gewölbfchub zu $0{,}95 \cdot 0{,}5 = 0{,}475^{qm}$ ergeben. Um für die Berechnung der Gewölbftärke die Gleichungen 145 (S. 186) und 150 (S. 187), bezw. die Tabelle auf Seite 202 benutzen zu können, ift zu beachten, dafs jene Gleichungen, bezw. jene Tabelle unter der Annahme einer Gewölbtiefe gleich der Längeneinheit (gleich 1^{m}) aufgeftellt find. Würde alfo der Streifen A ftatt einer Breite von $0{,}6^{m}$ eine folche von 1^{m} befitzen, fo würde fich der Gewölbfchub ergeben zu

$$H = \frac{1}{0{,}6} \cdot 0{,}475 = 0{,}79 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

Nach der Tabelle auf Seite 202 erfordert diefer Gewölbfchub nicht ganz eine Backfteinlänge als Gewölbftärke.

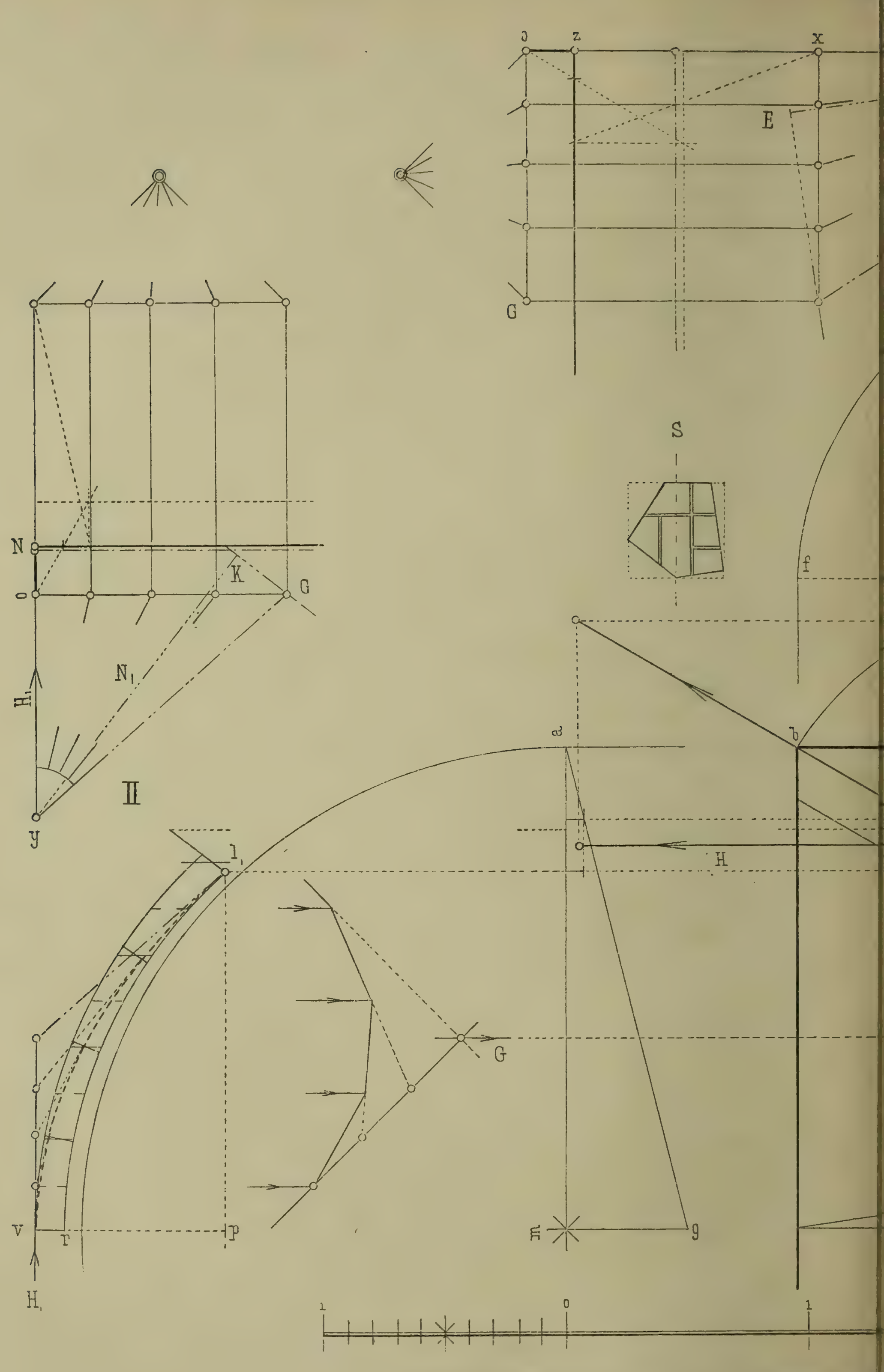
In gleicher Art findet man den Normaldruck des Streifens A für die Widerlagsfuge unter Verwerthung der Linie $hi = 1{,}4^{m}$ zu

$$N = \frac{1}{0{,}6} \cdot 1{,}4 \cdot 0{,}5 = 1{,}16 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

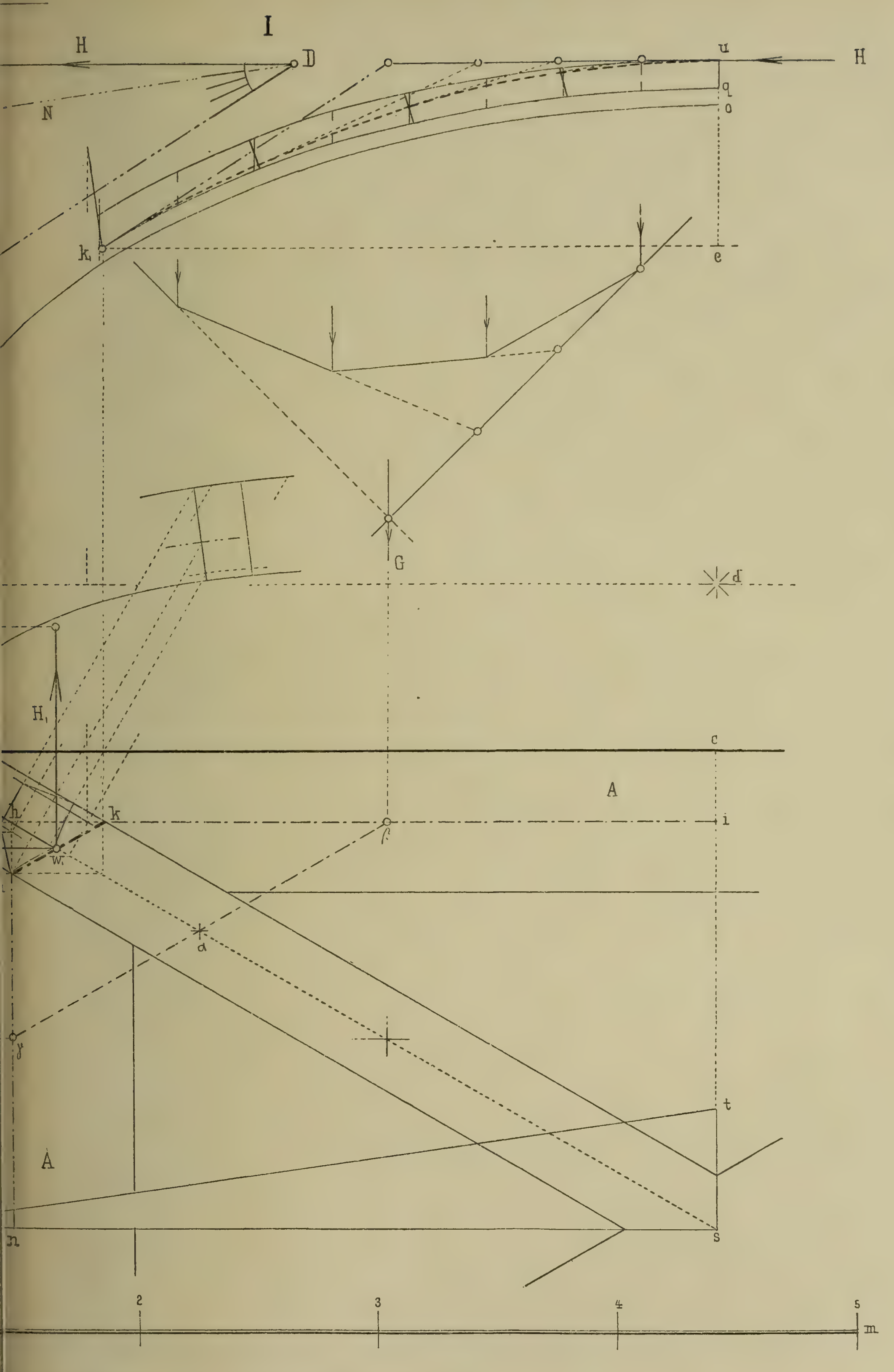
Auch für diefe Zahl giebt die Tabelle auf Seite 202 keine über $0{,}25^{m}$ gehende Gewölbftärke. Die für die Kappen angenommene Gewölbftärke ift alfo ausreichend. Da alle übrigen Gewölbftreifen kleineren Gewölbfchüben unterliegen, die Prüfung der fämmtlichen Streifen den Gleichgewichtszuftand gegen Drehen und gegen Gleiten (Reibungswinkel ρ bei F) bekundet, fo können die Gewölbkappen als ftabil gelten. Der Einflufs, welcher von den Gewölbftreifen durch ihre Gewichte und ihre Gewölbfchübe auf den Grat aus-



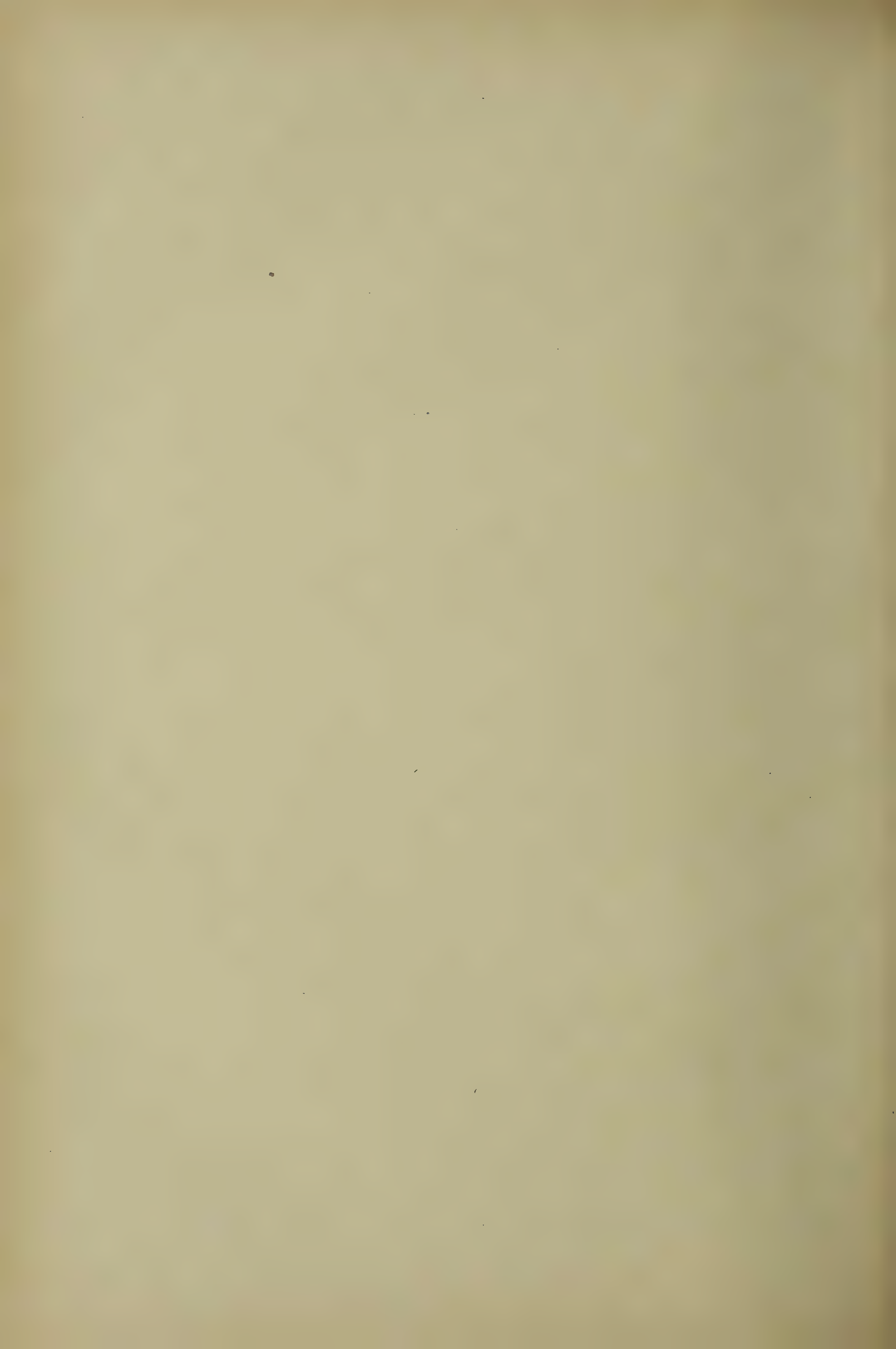
Zu



Stabilitäts-Unterfuchung eines cylindrifche



reuzgewölbes über rechteckigem Grundrifs.



geübt wird, ift ohne Weiteres für den Streifen A bei m zu erkennen. Gegen den Grat treten die beiden hier gleichen Streifen A mit einem Gewölbfchube $g\,i$ des Gewichtsplanes A. Die Angriffspunkte k und l derfelben liegen am Grat in einer wagrechten Linie $k\,l$. Zerlegt man die in k und l angreifenden Gewölbfchübe $g\,i$ in ihren lothrechten Kräfteebenen je in eine wagrechte Seitenkraft $H = g\,f = q\,g$ und in eine lothrechte Seitenkraft $f\,i = o\,p$, fo laffen fich zunächft H und H zu einer wagrechten Mittelkraft $H_{\prime}$ zufammenfetzen, welche nunmehr in der lothrechten Mittelebene $d\,s$ des Gratbogens liegt und deren Angriffspunkt nach m in der wagrechten Linie $k\,l$ zu legen ift. Diefes Zufammenfetzen der Kräfte H ift im Gewichtsplane durch das Kräftedreieck $q\,g\,f$ vorgenommen. Sodann laffen fich auch die lothrechten in k und l wirkenden Kräfte $o\,p$ zu einer einzigen Mittelkraft G, hier gleich $2\,o\,p$, zufammenfetzen, deren Richtung gleichfalls durch m geht, fo dafs nunmehr der Gratbogen aufser feinem Eigengewichte vor allen Dingen im Punkte m, deffen Lage in jedem Falle leicht ermittelt werden kann, vom Streifen A durch die Kräfte $H_{\prime}$ und G beanfprucht wird. Auf demfelben Wege find, wie in den Kräfte- oder Gewichtsplänen der einzelnen Streifen angegeben, auch alle von den Elementarftreifen herrührenden und für den Gratbogen in Rechnung tretenden Kräfte aufzufinden. Von diefen Kräften wird bei der Beftimmung der Stärke der Gratbogen unter β Gebrauch gemacht werden.

251.
Beifpiel
2.

Beifpiel 2. Der Grundrifs eines cylindrifchen Kreuzgewölbes mit Stechung (fiehe die neben ftehende Tafel) fei ein Rechteck von 4,0 m Breite und 6,9 m Länge. Die Stirnbogen der fchmalen Seite find Halbkreife mit dem Halbmeffer $m\,a$; diejenigen der langen Seite hingegen, da fämmtliche Randbogen eine gleich grofse Pfeilhöhe erhalten follen, find Halbellipfen mit der halben grofsen Axe $b\,c$, bezw. $f\,d$ und der halben kleinen Axe $d\,e = m\,a$. Die Stechungshöhe des Gewölbes ift $m\,g = s\,t = 0{,}5$ m. Die Einwölbung foll auf Kufverband mit Backfteinmaterial vom Eigengewicht 1,6 erfolgen. Die Grate find gleichfalls aus Backftein von 1 1/2 Stein Breite und 1 1/2 Stein Höhe mit entfprechenden Widerlagsflächen für die Gewölbkappen herzurichten.

Da es für die Beftimmung der Gewölbftärke ausreichend ift, die am weiteften gefpannten Elementarftreifen von je zwei an einem Gratbogen zufammentretenden Kappen ftatifch zu unterfuchen, fo find hier die beiden Elementarftreifen A und $A_{\prime}$, welche unmittelbar an den Stirnbogen der Seiten des Rechteckes liegen, in Betracht gezogen. Die lothrechten Mittelebenen, welche zugleich Kräfteebenen der Streifen find, ftehen parallel zu den Stirnebenen. Sie fchneiden fich in einer lothrechten Linie, welche die Gratlinie über $b\,s$ in einem Punkte trifft, deffen wagrechte Projection h wird. Bei diefer Beftimmung der Kräfteebenen, welche durch die von einander abhängige Zerlegung der Kappen in ihre Elementarftreifen bedingt ift, entftehen bei einem rechteckigen Grundriffe ftets zwei am Grat zufammenlaufende Streifen von verfchiedener Breite, wobei aber das Verhältnifs der Breite b des fchmalen Streifens A zur Breite B des anliegenden Streifens $A_{\prime}$ ftets durch

$$\frac{b}{B} = \frac{c\,s}{b\,c} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 239.$$

auszudrücken ift. Auch für die Weite der Elementarftreifen ergiebt fich ein Zufammenhang, indem aus leicht erfichtlichen Gründen

$$\frac{k\,i}{l\,n} = \frac{b\,c}{c\,s} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 240.$$

wird. Da nun aufserdem vermöge der Geftaltung der Laibungsflächen der cylindrifchen Kappen auch beim Vorhandenfein einer Stechung die Anfchlufspunkte $k_{\prime}$, bezw. $l_{\prime}$ der mittleren Wölblinien folcher Streifen A und $A_{\prime}$ an der Widerlagsfläche am Grat eine gleiche Höhenlage über der Kämpferebene erhalten, fo ift die gerade Verbindungslinie diefer Punkte, deren wagrechte Projection $k\,l$ ift, auch eine wagrechte Linie. Ferner ift zu beachten, dafs die Pfeilhöhen $o\,q$ und $p\,r$ in Folge der regelrechten Ausmittelung der mittleren Wölblinie der Streifen A und $A_{\prime}$, wie folche nach der grundlegenden Geftaltung (fiehe Art. 241, S. 355) der Gewölbflächen zu gefchehen hat, einander gleich werden. Ift nun die Stärke beider Elementarftreifen, wie bei der Ausführung der Fall, wiederum diefelbe, fo ift auch $o\,u = p\,v$, d. h. die höchften Punkte einer gedachten Scheitelfuge der fymmetrifch gebildeten kleinen Tonnengewölbe, welche für die Elementarftreifen nur zur Hälfte berückfichtigt zu werden brauchen, liegen in einer wagrechten Ebene. Weiter ift zu berückfichtigen, dafs, wenn F die Gröfse der mittleren Schnittfläche des längeren Streifens A und f diejenige der mittleren Schnittfläche des kürzeren Streifens $A_{\prime}$ ift, auch in Abhängigkeit von der Geftaltung des Gewölbes

$$\frac{F}{f} = \frac{bc}{cs} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 241.$$

wird. Bei gleicher Stärke d der Elementarftreifen wird der Inhalt V des Körpers A von der Breite b gleich bF und der Inhalt $V_{,}$ des Körpers $A_{,}$ von der Breite B gleich Bf; mithin ift

$$\frac{V}{V_{,}} = \frac{bF}{Bf},$$

d. h. unter Anwendung der Gleichungen 239 u. 241

$$\frac{V}{V_{,}} = \frac{cs}{bc} \cdot \frac{bc}{cs} = 1$$

oder

$$V = V_{,} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 242.$$

Demnach find bei gleichem Wölbmaterial auch die Gewichte G der beiden Gewölbftreifen A und $A_{,}$ einander gleich. Hieran würde auch nichts geändert, wenn beide Gewölbftreifen A und $A_{,}$ eine das Verhältnifs $\frac{F}{f} = \frac{bc}{cs}$ nicht umgeftaltende fremde Belaftung über dem Rücken aufzunehmen hätten. Das Gewicht G wirkt im Abftande βk vom Widerlagspunkte $k_{,}$ der Mittellinie des Streifens A, während das gleiche Gewicht G des Streifens $A_{,}$ im Abftande γl vom Widerlagspunkte $l_{,}$ der Mittellinie des Streifens $A_{,}$ angreift. Wieder ift zu beachten, dafs

$$\frac{\beta k}{\gamma l} = \frac{bc}{cs} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 243.$$

ift. Entfprechend Gleichung 135 (S. 183) ergiebt fich der Gewölbfchub H des Streifens A als

$$H = G \frac{\beta k}{ou} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 244.$$

und der Gewölbfchub $H_{,}$ des Streifens $A_{,}$ als

$$H_{,} = G \frac{\gamma l}{pv},$$

oder da, wie vorhin angegeben, $pv = ou$ ift,

$$H_{,} = G \frac{\gamma l}{ou} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 245.$$

Aus den Gleichungen 244 u. 245 erhält man fofort $\frac{H}{H_{,}} = \frac{\beta k}{\gamma l}$, d. h. nach Gleichung 243

$$\frac{H}{H_{,}} = \frac{bc}{cs} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 246.$$

Die auf die Widerlagsflächen der Streifen am Gratbogen treffenden Gewölbfchübe zerlegen fich für den Streifen A im Punkte $k_{,}$, bezw. k in die lothrechte Seitenkraft G und in die wagrechte Kraft H, eben fo für den Streifen $A_{,}$ im Punkte $l_{,}$, bezw. l in eine lothrechte Seitenkraft ebenfalls gleich G und in die wagrechte Kraft $H_{,}$. Die aus G und G entfpringende Mittelkraft gleich $2\,G$ geht durch den Halbirungspunkt w der wagrechten Geraden kl. Der Punkt w ift aber ein Punkt der lothrechten Gratebene bs, welche die Bogenlinie des Grates enthält. Setzt man die durch $k_{,}$ und $l_{,}$, bezw. k und l gehenden wagrechten Kräfte H und $H_{,}$ im Verfolg ihrer Lage in h zu einer Mittelkraft zufammen, fo fällt vermöge der Beziehung 246 diefe Mittelkraft gleichfalls in diefe Richtungsebene bs des Gratbogens. Da fchliefslich h die gleiche Höhe über der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes wie der Punkt w befitzt, fo folgt, weil der Angriffspunkt der Mittelkraft aus H und $H_{,}$ in ihrer Richtung von h nach w verlegt werden darf, dafs der Gratbogen in vortheilhafter Weife in feiner Richtungsebene bs, welche zugleich Kräfteebene des Grates fein foll, in dem ermittelten Punkte w durch die lothrechte Mittelkraft $2\,G$ und die wagrechte Mittelkraft aus H und $H_{,}$, welche von den Gewölbdrücken der Elementarftreifen A und $A_{,}$ herrühren, beanfprucht wird. Würde man in gleicher Weife für alle entfprechend geordneten Elementarftreifen der an einem Grat zufammentretenden Gewölbkappen die Ermittelung der Kräfte durchführen, fo würde auch hieraus eine Beanfpruchung des Grates in feiner Kräfteebene bs fich kennzeichnen.

Diefes für die Conftruction, bezw. für die Geftaltung und praktifche Ausführung der cylindrifchen Kreuzgewölbe über rechteckigen Grundriffen äufserft wichtige Ergebnifs, deffen Erzielung bei der Durchführung derartiger Gewölbe eigentlich zur Forderung erhoben werden mufs, hat fich in einem anderen Gewande auch durch die in Theil I, Band 1, zweite Hälfte (Art. 485, S. 453 [177]) diefes »Handbuches« geführten Unterfuchungen herausgeftellt.

---

177) 2. Aufl.: Art. 279, S. 263.

Die auf üblichem Wege angeftellte ftatifche Unterfuchung der Gewölbftreifen A und $A_{\prime}$ unter Berückfichtigung des möglichft kleinften Horizontalfchubes ift aus den Plänen I und II der Tafel bei S. 367 zu erfehen.

Nach der Zeichnung erhält man für die Strecke Dx im Plane I die Länge von $1{,}60$ m, für die Strecke yo im Plane II die Länge von $0{,}93$ m. Hiernach ift $\frac{Dx}{yo} = \frac{1{,}60}{0{,}93} = 1{,}72$.

Da nun bc als halbe Rechteckfeite gleich $\frac{6{,}9}{2} = 3{,}45$ m und $cs = \frac{4}{2} = 2$ m ift, fo würde $\frac{bc}{cs} = \frac{3{,}45}{2} = 1{,}725$ fein; folglich find die gemeffenen Strecken Dx und yo in recht guter Uebereinftimmung erhalten.

Die Breite des Streifens A ift zu $0{,}60$ m angenommen, und fomit ergiebt fich die Breite des Streifens $A_{\prime}$ in Uebereinftimmung mit der Zeichnung nach Gleichung 239 zu $B = 0{,}60 \cdot \frac{3{,}45}{2} = 1{,}035$ m. Da die Dicke der Wölbftreifen $qu = rv$ für beide Stücke diefelbe ift, fo erhält man auch die Gewichtsftrecken, bezw. Flächenwerthe oder Körperinhalte in beiden Plänen I und II als oG in der Zeichnung von gleicher Gröfse trotz verfchiedener Breite der Lamellen der einzelnen Gewölbflächen, wie es nach der Rechnung, entfprechend Gleichung 242, fein foll. Der Horizontalfchub H ergiebt fich für den Streifen A, da die Bafis oz zur Reducirung der Kräfte (Gewichte) gleich $0{,}2$ m gewählt wurde, als $H = 1{,}6 \cdot 0{,}2 = 0{,}32$ Quadr.-, bezw. Cub.-Met., während der Horizontalfchub des Streifens $A_{\prime}$ fich zu $H_{\prime} = 0{,}93 \cdot 0{,}2 = 0{,}186$ Quadr.-, bezw. Cub.-Met. beftimmt.

Um die Gewölbftärke berechnen zu können, ift, wie im Beifpiel 1, der Horizontalfchub der Streifen wiederum bei jedem derfelben für eine Tiefe gleich der Längeneinheit, alfo gleich 1 m, zu ermitteln. Hiernach wird der für den Streifen A von der Breite $0{,}60$ m zu beachtende Gewölbfchub

$$\mathfrak{H} = \frac{1}{0{,}6} \cdot 0{,}32 = 0{,}533 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

und der für den Streifen $A_{\prime}$ geltende Gewölbfchub

$$\mathfrak{H}_{\prime} = \frac{1}{1{,}72} \cdot 0{,}186 = 0{,}108 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

Nach der Tabelle auf Seite 202 erfordert der Gewölbfchub $\mathfrak{H}$ des Hauptftreifens der weiteften Kappe eine Stärke, welche zwifchen 1/2 Stein und 1 Stein als Durchfchnittswerth liegt, während für einen Hauptftreifen der fchmalen Kappe, dem Gewölbfchube $\mathfrak{H}_{\prime}$ entfprechend, eine Gewölbftärke von 1/2 Stein völlig genügt.

Für den Normaldruck $\mathfrak{N}$, bezogen auf die Tiefe gleich 1 m, wird für die Widerlagsfuge des Hauptftreifens der weiteften Kappe am Grat, da DE im Plan I gleich $1{,}74$ m, alfo $N = 1{,}74$. Bafiszahl $= 1{,}74 \cdot 0{,}2 = 0{,}348$ Quadr.-, bezw. Cub.-Met. ift,

$$\mathfrak{N} = \frac{1}{0{,}6} \cdot 0{,}348 = 0{,}58 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

Nach der Tabelle auf Seite 202 erfordert diefer Druck eine Gewölbftärke von nicht ganz 1/2 Stein. Läfft man, da der wagrechte Schub $\mathfrak{H}$ diefes Streifens eine etwas gröfsere Gewölbftärke erfordert, als der Normaldruck $\mathfrak{N}$, bei fehr gutem Backfteinmaterial eine etwas ftärkere Preffung hier als zuläffig gelten, fo kann auch die $6{,}9$ m weite Kappe des unterfuchten Gewölbes mit 1/2 Stein Stärke, wie in der Zeichnung angenommen ift, beibehalten werden.

Der Normaldruck $\mathfrak{N}_{\prime}$ der fchmalen Kappe wird, da yK im Plane II zu $1{,}38$ m gefunden ift, berechnet als

$$\mathfrak{N}_{\prime} = \frac{1}{1{,}72} \cdot 1{,}38 \cdot 0{,}2 = 0{,}16 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

Da diefer Werth nach der Tabelle auf Seite 202 keine gröfsere Dicke als 1/2 Stein beanfprucht, fo bleibt diefe fchon für $\mathfrak{H}_{\prime}$ feft gefetzte Stärke der fchmalen Kappe giltig. Der Verlauf der eingezeichneten Mittellinien des Druckes in den Plänen I und II der Tafel bei S. 367 ergiebt Gleichgewichtszuftand gegen Drehung und, da die refultirenden Preffungen in den einzelnen Theilfugen der Streifen mit der Senkrechten zu diefen Fugen ftets Winkel einfchliefsen, welche kleiner bleiben als der Reibungswinkel ρ des Materials (tg ρ etwa $= 0{,}7$), auch Gleichgewichtszuftand gegen Gleiten. Auf den letzteren Punkt ift namentlich hinfichtlich der Widerlagsfugen am Grat zu achten, da, falls fich hier beim Auffinden der Mittellinie des Druckes ein Gleiten bekunden follte, die Neigung der Anfatzfläche der Wölbftreifen am Grat S fo weit abzuändern ift, dafs alsdann kein Gleiten mehr möglich wird.

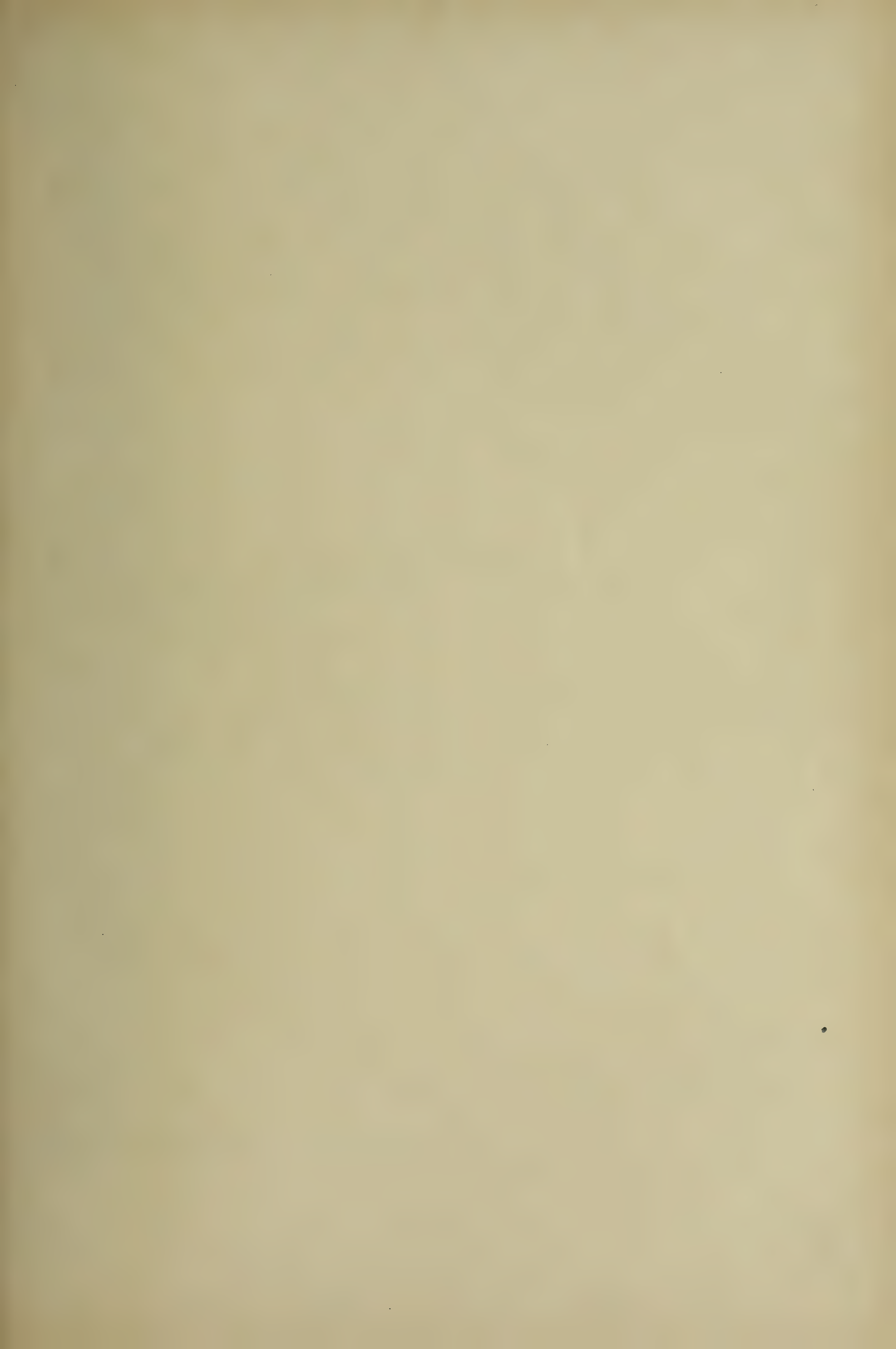
Hätte man den Hauptftreifen der weiteften Kappe 1 Stein ftark ausführen wollen, während der zugehörige Hauptftreifen der antretenden fchmalen Kappe nur $^1/_2$ Stein ftark verbliebe, fo hätte eine Uebermauerung diefes letzteren Stückes in der Art vorgenommen werden müffen, dafs die Gewichte, bezw. Flächen oder Inhalte der Streifen das mehrfach erwähnte, in Gleichung 241 ausgefprochene Verhältnifs beibehalten konnten. Im anderen Falle würde der Gratbogen durch die Gewölbdrücke nicht in feiner Richtungsebene *bs* in der oben geforderten günftigen Weife beeinflufft, fondern leicht Verfchiebungen, bezw. Verdrehungen ausgefetzt werden können.

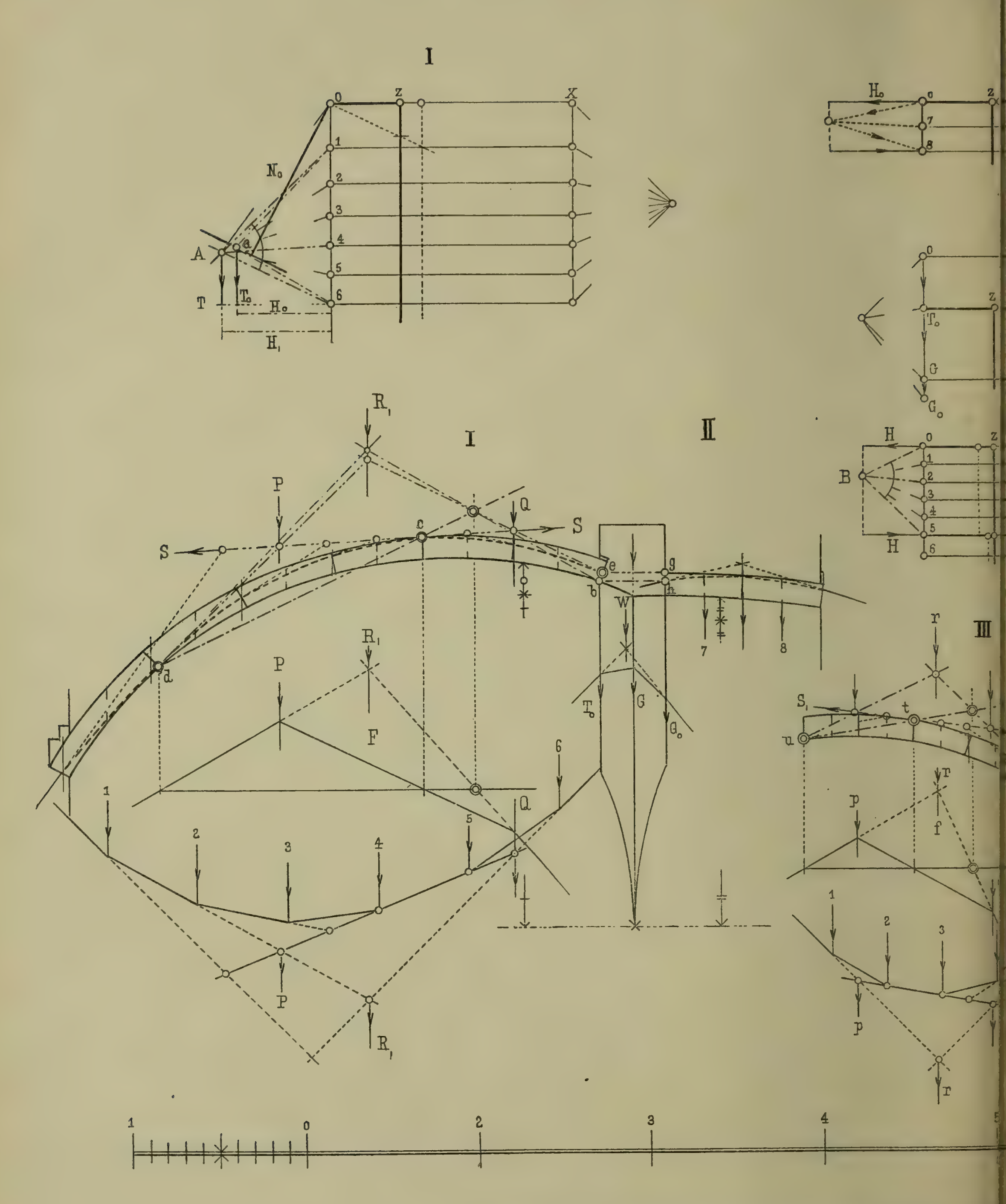
252. Beifpiel 3.

Cylindrifche Kreuzgewölbe mit oder ohne Stechung werden fehr häufig auf Schwalbenfchwanz-Verband eingewölbt. Hierbei follen, wie bei der Ausführung der Kreuzgewölbe (unter 3) noch näher gezeigt werden wird, die einzelnen Wölbftreifen oder Zonenlagen in ihren Stirnflächen Normalebenen des Gratbogens angehören. Die wagrechten Projectionen der Wölblinien diefer Zonen treten als Schnittlinien jener Ebenen mit den cylindrifchen Kappenflächen im Allgemeinen als elliptifche Linien auf, welche in ihrem Anfangselemente an der wagrechten Projection der Gratlinie eine Tangente befitzen, deren wagrechte Projection keine Senkrechte zur Grundrifslinie des Gratbogens ift. Aufserdem treffen fich, wie in Art. 181 (S. 277) bei den Kappengewölben angeführt ift, die einzelnen einander zugehörigen Streifen, fobald die Scheitellinie einer Kappe erreicht wird, in einer fog. Schnäbelung über diefer Linie. Wie die auf Schwalbenfchwanz-Verband eingewölbten gewöhnlichen Kappengewölbe in den einzelnen Wölbftreifen ihren Gewölbfchub fowohl auf die Widerlagsmauern als auch auf die Stirnmauern übertragen, fo wird auch bei den nach diefem Verbande gewölbten cylindrifchen Kreuzgewölben von den einzelnen Wölbzonen nunmehr ein Gewölbfchub auf die Gratbogen und auf die Randbogen, bezw. Stirnmauern des Gewölbes überführt, fo dafs Gratbogen und Randbogen, bezw. Stirnmauern in erfter Linie als Widerlager diefer Kappen auftreten. Die ftatifche Unterfuchung, welche in einigen wefentlichen Gefichtspunkten fich der in Fig. 366 (S. 278) für ein gewöhnliches Kappengewölbe durchgeführten Behandlung anfchliefst, foll im Nachftehenden vorgenommen werden.

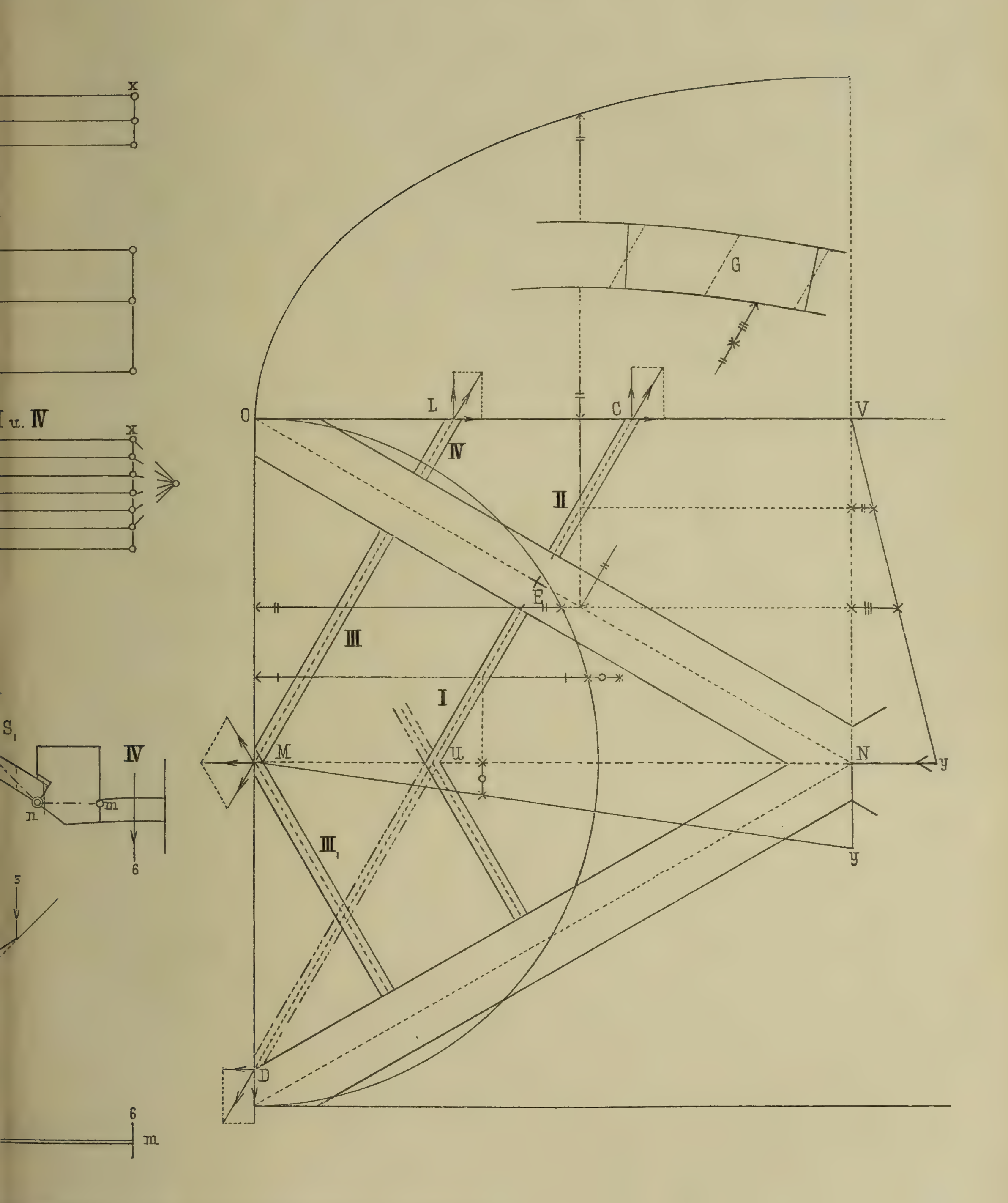
Beifpiel 3. Der Grundrifs eines cylindrifchen Kreuzgewölbes mit Stechung (fiehe die neben ftehende Tafel) fei wiederum ein Rechteck von 6,9 m Länge und 4,0 m Breite. Die Stirnbogen der kurzen Seiten find Halbkreife vom Halbmeffer $MO = MD$. Die Randbogen der langen Seiten find Halbellipfen mit einer halben grofsen Axe gleich VO und einer halben kleinen Axe gleich MO. Die Stechungshöhe ift $Ny = 0{,}5$ m. Die Grate find aus Backftein $1^1/_2$ Stein breit und $1^1/_2$ Stein ftark felbftändig auszuführen; die Kappen find $^1/_2$ Stein ftark im Schwalbenfchwanz-Verband zu wölben.

Wenn gleich für die Beftimmung der Richtung der einzelnen Wölbfchichten die Annahme der oben bezeichneten Normalebenen zum Gratbogen G mafsgebend fein würde, fo kann man doch, um die Stabilitäts-Unterfuchung der Gewölbkappen nicht zu verwickelt zu geftalten, mit für die Praxis hinreichender Genauigkeit annehmen, dafs die einzelnen dünnen Wölbftreifen durch fenkrechte Ebenen begrenzt find, welche rechtwinkelig zur lothrechten Richtungsebene ON des Gratbogens ftehen. Die einzelnen Gewölbftreifen bilden alsdann wiederum, wie beim Kappengewölbe in Fig. 366 (S. 278), einhüftige Gewölbe, welche ihr Widerlager am Grat und an den Randbogen oder Stirnmauern des Kreuzgewölbes finden. Somit tritt der Fall ein, dafs fich zwei im Allgemeinen verfchieden geftaltete und belaftete Gewölbftücke gegen ein befonderes Gewölbe, den Gratbogen, legen, welcher für diefelben ein gemeinfchaftliches Widerlager abgiebt, während das andere Widerlager an einem

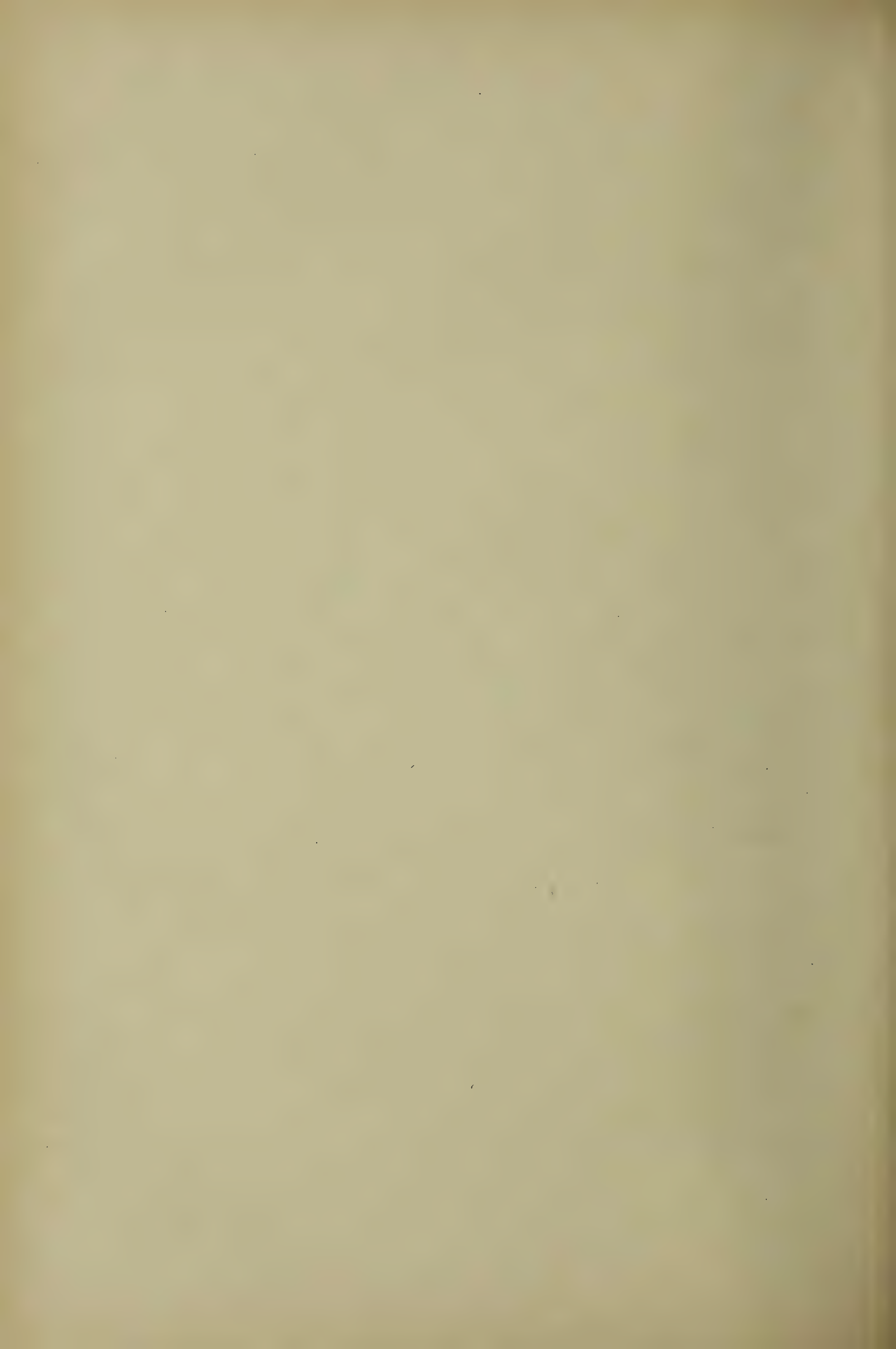




Stabilitäts-Unterfuchung eines cylindrifchen F



...zgewölbes mit Schwalbenſchwanz-Verband.



befonderen Baukörper auftritt, mag derfelbe nun gefchloffen oder unter den Stirnbogen des Gewölbes offen gehalten fein. Für den Grat werden fich demnach ähnliche Beziehungen geltend machen müffen, wie bei dem in Art. 198 (S. 294) behandelten Gurtbogen zwifchen Kappengewölben. Aber auch für den Gewölbfchub, welcher auf die Randbogen, bezw. Stirnmauern von den einzelnen Wölbftreifen übertragen wird, werden die Vorausfetzungen, welche beim Kappengewölbe in Fig. 366 (S. 278) zur Sprache gebracht wurden, hier wiederum zu machen fein. Dies gilt hauptfächlich von der Fortpflanzung des Gewölbfchubes der über der Scheitellinie der Kappen zufammentretenden, gefchnäbelten Schichten. Hierfür eine Summirung der in der Scheitellinie durch Zerlegen der Schübe zu bildenden wagrechten Kräfte vorzunehmen, erfcheint eben fo unftatthaft, wie bei jenem gewöhnlichen Kappengewölbe. Denn fchliefslich ift die Kappe des Kreuzgewölbes auch nur ein gewöhnliches Kappengewölbe. Dächte man fich die Widerlager, welche durch die Gratbogen als Begrenzung einer folchen Kappe gebildet werden, als ftabile Bogenftellung äufserft lang fortgeführt, fo gelangt man wiederum zu dem berechtigten Schluffe, dafs die einfache Summirung jener der Scheitellinie zugewiefenen wagrechten Kräfte einen Schub für den Randbogen von äufserft bedenklicher Gröfse liefern müffte, was in Rückficht auf das in Art. 181 (S. 277) Gefagte als unzuläffig angefehen werden darf. Aber auch fchon bei Kreuzgewölben von üblichen und durchaus nicht aufsergewöhnlichen Weiten würde durch die erwähnte Summirung jener Preffungen in der Scheitellinie eine Beanfpruchung der Randbogen in ihrer höchften Stelle wach gerufen, welche für die Durchbildung derfelben als felbftändige oder offene, nicht etwa noch übermäfsig durch Uebermauerung belaftete Stirn- oder Schildbogen (Gurtbogen) fo nachtheilig würde, dafs die Einwölbung der Kappen auf Schwalbenfchwanz-Verband beim Kreuzgewölbe ohne Weiteres als vollftändig verwerflich hingeftellt werden müffte. Der Erfahrung nach ift jedoch die gefchilderte Beanfpruchung der als Gurtbogen durchgeführten Randbogen bei diefem Wölbverbande gar nicht fo gewaltig, dafs ihre Breite im Vergleich mit den übrigen Gewölbtheilen unverhältnifsmäfsig grofs genommen werden müffte. In Folge hiervon fcheinen die mehrfach erwähnten, zu Fig. 366 (S. 278) gegebenen Erörterungen auch hier bei der Stabilitäts-Unterfuchung des Kreuzgewölbes am Platze zu fein.

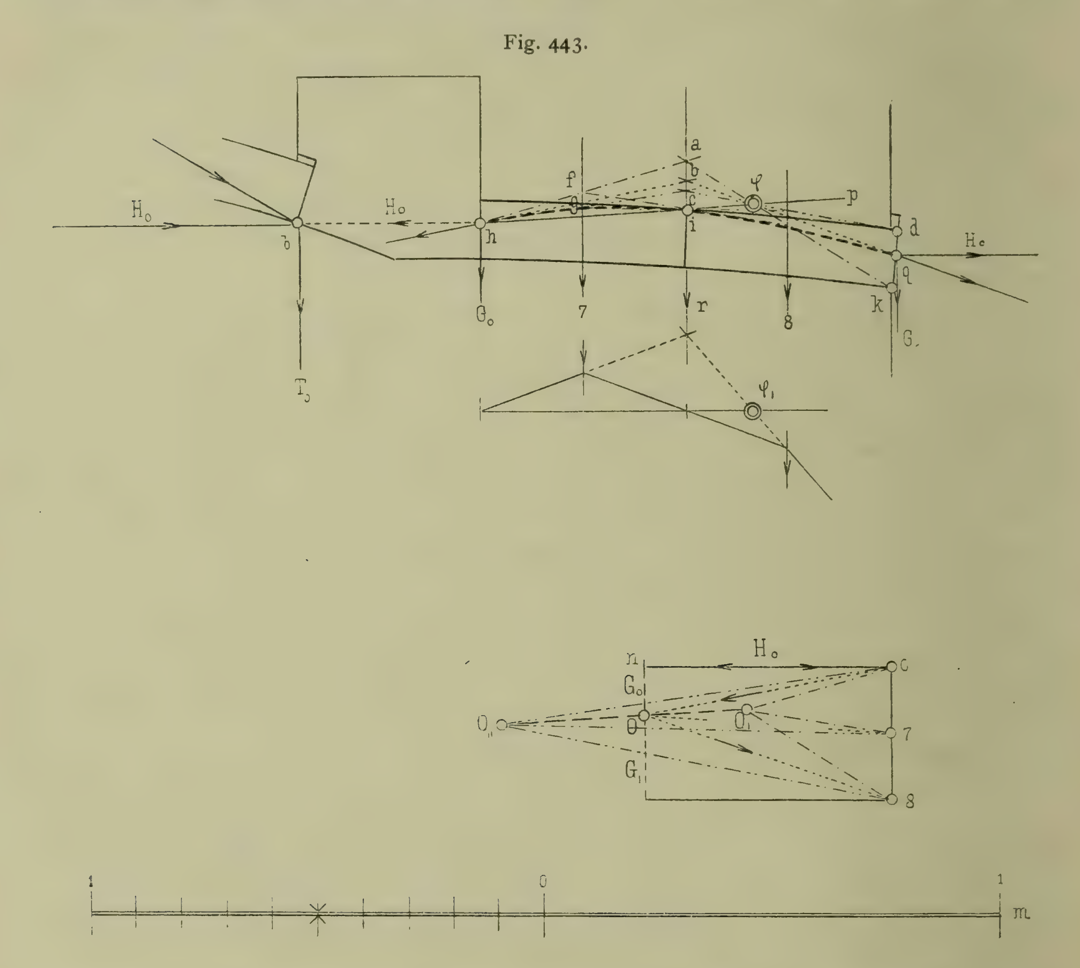
Dem gemäfs ift zunächft ein von der Ecke D rechtwinkelig auf ON ftehender Wölbftreifen mit einer lothrechten Mittelebene CED in Betracht gezogen. Die Wölblinie des Streifens in diefer Mittelebene nebft dem lothrechten Schnitte des Gratbogens ift im Plane I und II unter Beachtung der Stechung, wie aus der Zeichnung zu erfehen, ausgetragen. Der Streifen ED überfchreitet die Scheitellinie MN der fchmalen Gewölbkappe in U. Wie in Art. 181 (S. 283) angegeben, foll der Theil UD auch hier als Nebentheil des Haupttheiles EU angefehen und wiederum angenommen werden, dafs diefem Nebentheile die Aufgabe zu Theil wird, den Gewölbfchub des Streifens in feiner Gefammtheit von E nach D innerhalb der Gewölbkappe zu übertragen. (Vergl. den Plan II in Fig. 366, S. 278.)

Die Stärke des Gewölbftreifens ift gleich $0{,}12^{m}$. Die Breite deffelben könnte beliebig gewählt werden. Da jedoch fpäter zur Beftimmung der Gewölbdicke ein Gewölbfchub für die Tiefe des Streifens gleich 1^{m} in Frage kommt, fo foll, da in Wirklichkeit eine Zone ED nur eine Backfteindicke gleich $0{,}065^{m}$ befitzt, zunächft für die Tiefe gleich 1^{m} die ftatifche Unterfuchung angeftellt und danach die Gröfse der auf die Widerlager am Grat-, bezw. am Randbogen kommenden Gewölbfchübe für die Tiefe gleich $0{,}065^{m}$ diefer Zone berechnet werden. Dem entfprechend find die Flächen-, bezw. Gewichtswerthe für I und II fo beftimmt, dafs die Bafis $oz = 0{,}4^{m}$ gewählt und die Strecke zx in den zugehörigen Gewichtsplänen gleich 1^{m} beibehalten ift.

Bei den beiden fich gemeinfchaftlich gegen den Gratbogen legenden einhüftigen Gewölbftücken I und II wird das gröfsere Stück I im Allgemeinen einen gröfseren Gewölbfchub auf den Gratbogen ausüben, als das kleinere Stück II. Letzteres wird alfo die Rolle eines Strebe- oder Abfteifungsbogens für

den Gratbogen übernehmen müffen, um fchliefslich einen von feinem Eigengewicht und der ihm vom gröfseren Stücke *I* zugefügten Preffung erzeugten Druck auf fein Widerlager am Randbogen fortzupflanzen. Die zur Prüfung des Gleichgewichtszuftandes des ganzen Streifenfyftems erforderliche Unterfuchung wird durch diejenige des Stückes *I* eingeleitet. Eine im Sinne des in Art. 146 (S. 208) Gefagten angeftellte Vorunterfuchung des einhüftigen Gewölbftückes *I* giebt eine durch die Punkte *b*, *c* und *d* gehende, hier nicht weiter eingetragene Minimal-Drucklinie, welche unterhalb *d* noch eben in der Gewölbfläche verbleibt. Der Gewölbdruck in *b* ift bei diefer Drucklinie gleich *a 6* des Gewichtsplanes *I*. Die lothrechte Seitenkraft diefes Druckes ift gleich T_0 und die wagrechte Seitenkraft deffelben ift H_0. Die lothrechte Kraft, bezw. das Gewicht T_0, belaftet in *b* den Gratbogen. Derfelbe tritt alfo mit als Träger diefer Laft auf. Die wagrechte Seitenkraft H_0 fucht den Gratbogen feitlich zu verfchieben. Diefem Verfchieben hat das

Fig. 443.



Gewölbftück *II* nebft dem Widerlager am Randbogen Widerftand zu leiften. In ihrer Richtung fortgefetzt, trifft fie die Widerlagsfläche, bezw. Widerlagsfuge des Stückes *II* am Gratbogen im Punkte *h*. Diefes Stück *II* ift vermöge feiner Geftaltung, da daffelbe im Allgemeinen nicht aus zwei fymmetrifchen Hälften mit fymmetrifcher Belaftung befteht, wiederum ein einhüftiges Gewölbe. Für die ftatifche Unterfuchung deffelben find, aufser feiner Form, das Eigengewicht und die wagrechte Seitenkraft H_0 eines in *h* wirkfamen Gewölbfchubes mafsgebend, welcher für den Gleichgewichtszuftand eine Mittellinie des Druckes hervorrufen mufs, die innerhalb der Gewölbfläche verbleibt.

Um die Lage und Gröfse, bezw. Richtung diefes in *b* thätigen Schubes zu finden, ift, dem allgemeinen Wege entfprechend, welcher bei der ftatifchen Unterfuchung einhüftiger Gewölbe einzufchlagen ift, zunächft eine Mittellinie des Druckes (Fig. 443) ermittelt, welche durch den Punkt *h*, einen Punkt *i* der Rückenlinie, d. h. einen Bruchfugenpunkt, welcher durch eine Vorunterfuchung feft gelegt ift und durch den tiefften Punkt *k* der Widerlagsfuge am Randbogen geht. Hierbei ift der durch *h* und *i*

geführte Strahl hp als Polaraxe mit dem in bekannter Weife zu findenden Fixpunkte φ benutzt. Die äufserften Seiten ah und ak gehören einem Seilpolygon für die Gewichte 7 und 8 mit der Refultirenden r an, welches durch die drei Punkte h, i und k geht. Zieht man im Gewichtsplane $oO_{,}$ parallel zu ah und $8\,O_{,}$ parallel zu ak, fo wird $O_{,}$ Schnittpunkt, fo dafs man in $oO_{,}$ Gröfse und Richtung des Gewölbdruckes in h und in $O_{,}8$ Gröfse und Richtung des Gewölbdruckes in k erhält. Die mit Hilfe des Poles $O_{,}$ zu conftruirende Mittellinie des Druckes mit den Punkten h, i und k bliebe zwar innerhalb der Gewölbfläche; die wagrechten Seitenkräfte von $oO_{,}$, bezw. $O_{,}8$ find aber kleiner, als die vom Stücke I einwirkende wagrechte Kraft H_0, fo dafs beim Vorhandenfein der Gewölbdrücke $oO_{,}$ und $O_{,}8$ im Stücke II das letztere nicht im Stande fein würde, dem Gewölbfchube des Stückes I zu widerftehen. Das Stück II mufs fähig erfcheinen, einen gröfseren Gewölbfchub aufzunehmen. Nimmt man zum Feftlegen eines gröfseren Gewölbfchubes den höchften Punkt d der Widerlagsfuge dk des Stückes II unter Beibehaltung der Punkte h und i und der Polaraxe hp zur Ermittelung einer neuen Mittellinie des Druckes an, welche nun durch die Punkte h, i und d gehen foll, fo erhält man in bekannter Weife, da bei diefer Ermittelung der Fixpunkt φ feine Lage nicht ändert, die Lage der gefuchten Gewölbfchübe in db und bh. Zieht man jetzt im Gewichtsplane $oO_{,,}$ parallel zu bh und $8\,O_{,,}$ parallel zu db, fo wird $O_{,,}$ der Pol für ein durch die Punkte h, i und d für die Gewichte 7 und 8 zu legendes Seilpolygon, und man erhält in $oO_{,,}$ die Gröfse, bezw. den Sinn des Gewölbdruckes in h und in $O_{,,}8$ den Gewölbdruck in d. Ob die Mittellinie des Druckes für diefe Gewölbdrücke innerhalb der Gewölbfläche bleibt oder diefelbe verläfft, ift hier gleichgiltig, weil der Zeichnung nach die wagrechten Seitenkräfte von $oO_{,,}$ und $O_{,,}8$ fchon viel gröfser als H_0 erfcheinen. Derart grofse Gewölbfchübe für das Stück II erfordert aber der Gleichgewichtszuftand des ganzen Syftems nicht, weil diefelben nur folche Gröfse befitzen follen und auch nur nöthig haben, bis ihre wagrechten Seitenkräfte genau der Kraft H_0 entfprechen.

Diefe noch unbekannten Gewölbfchübe findet man unter Anwendung eines bekannten Satzes der graphifchen Statik, wonach für die beiden Seilpolygone, welche in hfi und hgi in ihren erften beiden Seiten hf, fi, bezw. hg, gi durch die feften Punkte h und i gehen, die Verbindungslinie $O_{,}O_{,,}$ der Pole $O_{,}$ und $O_{,,}$ ihrer zugehörigen und gleichen Kräftepolygone, hier die Gewichtsftrecke $O\,8$, eine Parallele zu der durch h und i gelegten Polaraxe hp fein mufs. Zieht man $O_{,}O_{,,}$, fo ift diefelbe thatfächlich parallel zu hp. Trägt man die wagrechte Linie $on = H_0$ ab, fo fchneidet die durch n parallel zu $o\,8$ geführte Gerade die Linie $O_{,}O_{,,}$ in O, und diefer Schnitt liefert den Pol eines dritten Seilpolygons, welches ebenfalls in feinen erften beiden Seiten durch die Punkte h und i gehen mufs, in feiner dritten Seite aber auch durch den Fixpunkt φ geht. Hiernach findet man nun ohne Weiteres in oO den gefuchten Gewölbfchub in h und in $O\,8$ den Gewölbfchub, welcher für das Widerlager am Randbogen des Stückes II in Frage kommt.

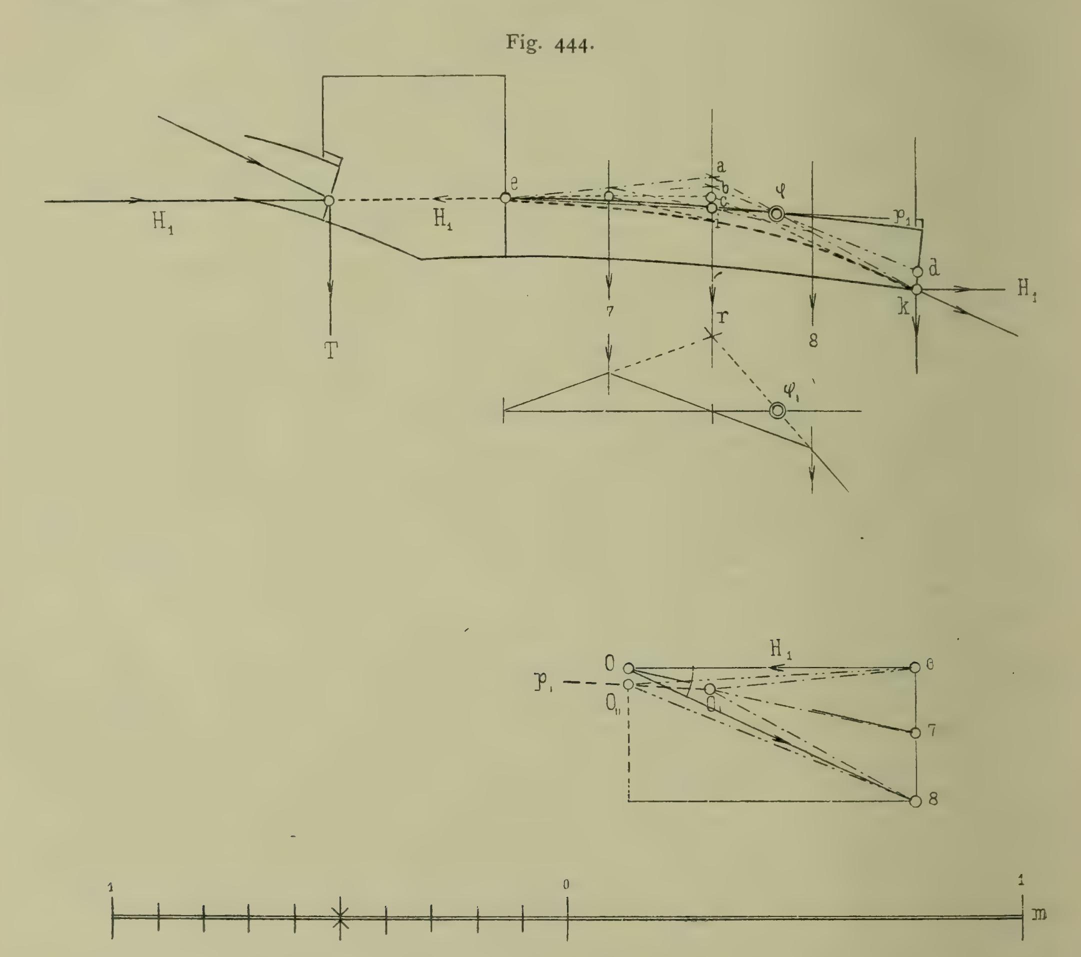
Wie leicht zu erkennen, hätte man auf Grund des erwähnten Satzes den Strahl $O_{,}O_{,,}$ parallel der Polaraxe hp bereits ziehen können, nachdem die Polftrahlen $oO_{,}$ und $O_{,}8$ für das durch h, i und k gehende erfte Seilpolygon den Pol $O_{,}$ feft gelegt hatten, fo dafs die Zeichnung des zweiten Seilpolygons für die Punkte h, i und d, bezw. die zugehörigen Polftrahlen $oO_{,,}$ und $O_{,,}8$ erfpart werden konnte.

Zeichnet man unter Benutzung des Poles O eine Mittellinie des Druckes hiq, fo ergiebt fich, dafs diefelbe vollftändig innerhalb der Gewölbfläche des Stückes II verbleibt und dafs auch eine Gefahr hinfichtlich des Gleitens beim Verlaufe diefer Drucklinie nicht gekennzeichnet wird. Da nun in der Richtung von b nach h und umgekehrt von h nach b gleich grofse wagrechte Kräfte H_0 auftreten, welche wohl den Gratbogen in h und b preffen, aber nicht drehen können, fo ift das Syftem der Wölbftreifen im Gleichgewicht, vorausgefetzt, dafs auch der Gratbogen für fich dem Gleichgewichtszuftande entfprechend hergeftellt ift.

Sollte bei der ftatifchen Unterfuchung des gröfseren Gewölbftückes I, wie zuweilen der Fall, fich eine Mittellinie des Druckes ergeben haben, welche nach der Tafel bei S. 370 mit einem Gewölbfchube in e übereinftimmt, deffen wagrechte Seitenkraft die Gröfse $H_{,}$ befitzt und, durch die Punkte e, c und d gehend, in e einen Punkt im Widerlager am Gratbogen enthält, welcher in einer Wagrechten ge liegt, die durch den höchften Punkt g der Widerlagsfuge des Stückes II im Querfchnitte des Grates geführt werden kann, fo find offenbar g und e, wie auch b und h, Grenzpunkte für die Lage der Angriffspunkte von Gewölbfchüben, deren wagrechte Seitenkräfte von gleicher Gröfse in einer folchen wagrechten Linie in einander entgegengefetzter Richtung wirken und fomit für fich eine feitliche Ausweichung oder eine Drehung des Gratbogens nicht hervorrufen können. Sind diefe Grenzpunkte e und g einmal in Betracht zu ziehen, fo kann nach Fig. 444 die ftatifche Unterfuchung des Gewölbftückes II nach demfelben Verfahren, wie bei Fig. 443 befchrieben, vorgenommen werden. Hat man auch hierbei zunächft die neue Polaraxe ep, durch einen angenommenen Bruchfugenpunkt c geführt, fo ergiebt fich meiftens fchon bei der Zeichnung eines erften Seilpolygons

mit den äufserften Strahlen ea und ak die Erkenntnifs, dafs die mit diefem Seilpolygon in Abhängigkeit ftehende Mittellinie des Druckes eine Bruchfuge anzeigt, welche nicht nach c, fondern oft und fo auch hier äufserft nahe an den Punkt e fällt, fo dafs die im vorliegenden Plane fchon faft wagrechte Polaraxe ep, und eben fo der faft wagrechte äufserfte Strahl eb eines zweiten Seilpolygons ebd, welchem als Gewölbfchub in e die vorgefchriebene wagrechte Seitenkraft $H_,$ zukommt, fich überhaupt der wagrechten Richtung fehr ftark nähern. Alsdann kann man mit hinreichender Genauigkeit die Mittellinie des Druckes unter Benutzung eines in e ausfchliefslich wagrecht liegenden Gewölbfchubes $H_, = O6$ zeichnen und prüfen, ob diefelbe dem geforderten Gleichgewichtszuftande entfpricht. In Fig. 444 erfüllt diefelbe als ek diefe Forderung. Wäre folches nicht der Fall, fo mufs die Geftaltung der Wölbftreifen durch Abänderung der Stechungshöhe, bezw. der Stärke der Wölbftreifen oder der Belaftung derfelben einer neuen Anordnung unterzogen werden.

Fig. 444.



Genau fo, wie die auf der Tafel bei S. 370 in der Richtung CD genommenen Wölbftreifen I und II unterfucht find, werden auch alle übrigen Gewölbftreifen auf ihre Stabilität geprüft. In der Zeichnung ift noch der Streifen III näher berückfichtigt und das Erforderliche fofort zu erkennen. Für den Streifen IV treten ähnliche Beziehungen auf, wie folche für den Streifen II fich geltend machten.

Für die Berechnung der Gewölbftärke wird felbftredend derjenige Elementarftreifen benutzt, deffen Gewölbfchub die gröfste wagrechte Seitenkraft liefert. Auf der Tafel ift der Streifen I als folcher anzufehen. Für denfelben ift $H_0 = 0{,}53$ m gefunden. Da die Bafis $oz = 0{,}4$ m gewählt, die Tiefe des Gewölbftreifens für die ftatifche Unterfuchung gleich 1 m angenommen war, fo ergiebt fich der für die Gewölbftärke mafsgebende Werth zu

$$H_0 = 0{,}53 \cdot 0{,}4 = 0{,}212 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

Nach der Tabelle auf Seite 202 ift für $H = 0{,}2$ eine Gewölbftärke von $^1/_2$ Stein gleich $0{,}12$ cm erforder-

lich. Diefe Stärke kann nun auch für $H_0 = 0{,}212$ hier beibehalten werden. Der Normaldruck für die Widerlagsfuge am Randbogen bei *D* ergiebt fich, da N_0 nach dem Gewichtsplane *I* gleich 1 m ift, als

$$N_0 = 1 \cdot 0{,}4 = 0{,}4 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

Für diefen Werth reicht alfo nach jener Tabelle die Gewölbftärke von $\frac{1}{2}$ Stein ebenfalls aus.

Um die Kräfte zu beftimmen, welche bei den auf Schwalbenfchwanz-Verband eingewölbten Kreuzgewölben auf die Randbogen, bezw. Stirnmauern kommen, hat man wie bei den gewöhnlichen Kappengewölben nach den Angaben zu Fig. 366 (S. 278) zu verfahren. Hier wäre z. B. die wagrechte Seitenkraft der bei *M* zufammentretenden Wölbfchichten *III* und *III*, nach dem Gewichtsplane *III* und *IV* auf der Tafel für die Tiefe gleich 1 m diefer Streifen, da *H* zu 0,35 m gemeffen ift,

$$H = 0{,}35 \cdot 0{,}4 \cdot 1 = 0{,}14 \text{ cbm}.$$

Da 1 cbm Backfteinwölbung 1600 kg wiegt, fo ift $H = 324$ kg. Der Elementarftreifen *III* ift aber nur 0,065 m (Backfteindicke) breit; mithin kommt für denfelben ein wagrechter Schub von $324 \cdot 0{,}065 = \backsim 21$ kg in Rechnung. Derfelbe Schub wird vom Streifen *III*, nach *M* gebracht. Beide fetzen fich, wie in der Zeichnung angegeben, zu einer wagrechten Mittelkraft zufammen, deren Gröfse im vorliegenden Falle, da der Winkel $OML = 30$ Grad ift, ebenfalls 21 kg betragen würde. Beftimmt man, wie fchon früher in Art. 181 (S. 277) in ausreichender Weife erörtert, die auf die Randbogen kommenden, aus den Elementarftreifen refultirenden Kräfte, ermittelt die Höhenlagen ihrer Angriffspunkte über der Kämpferebene mit Hilfe der feft gelegten Stirnlinien des Kreuzgewölbes, fo kann man fich leicht ein Bild von der Beanfpruchung der Randbogen derartiger, auf Schwalbenfchwanz-Verband ausgeführter Gewölbe verfchaffen, fo weit folches für die Praxis erforderlich ift. Die Beanfpruchungen der Gratbogen durch die lothrechten und wagrechten Seitenkräfte der Gewölbfchübe der einzelnen Streifen werden unmittelbar bei den ftatifchen Unterfuchungen, wie aus den Gewichtsplänen auf der Tafel bei S. 370 zu erkennen ift, mit klar gelegt.

β) Stärke der Gratbogen.

253. Kreuzgewölbe mit Kufverband.

Die Stabilitäts-Unterfuchung der Gratbogen der cylindrifchen Kreuzgewölbe, mögen diefelben auf Kuf- oder auf Schwalbenfchwanz-Verband zu wölben fein, läfft fich immer unter Benutzung der Grundlagen ausführen, welche für die ftatifche Unterfuchung der Tonnengewölbe mafsgebend waren.

Sind die von den Kappen auf die Gratbogen überführten Gewölbdrücke bekannt geworden, ift das Eigengewicht der Gratbogen, einfchliefslich einer etwa vorhandenen Belaftung durch Uebermauerung oder durch Einzellaften u. f. w., beftimmt, fo läfft fich, diefen äufseren, die Gratbogen angreifenden Kräften entfprechend, ein den Gleichgewichtszuftand bewirkendes Syftem von inneren wach gerufenen Kräften ermitteln und danach die Stärke, bezw. der Querfchnitt der Gratbogen feft ftellen.

Bei den auf Kuf gewölbten Kappen werden die auf die Gratbogen ausgeübten Gewölbdrücke nach gehöriger Vereinigung und dann nach entfprechender Zerlegung bei regelrechter Geftaltung des Gewölbes im Allgemeinen lothrechte und wagrechte Kräfte liefern, welche, wie in Art. 248 u. 249 angeführten Beifpielen 1 u. 2 gezeigt ift, in der lothrechten Richtungs- oder Kräfteebene des zugehörigen Gratbogens liegen.

Bei den auf Schwalbenfchwanz-Verband ausgeführten Kreuzgewölben find die wagrechten Seitenkräfte jener Gewölbdrücke, wie aus dem in Art. 252 gegebenen Beifpiele 3 zu entnehmen ift, bei einer fachgemäfsen Anordnung der cylindrifchen Laibungsflächen für fich im Gleichgewicht, fo dafs für den Gratbogen alsdann nur die lothrechten Seitenkräfte feiner Gewölbdrücke in Betracht zu ziehen find.

Für das in Art. 248 (S. 363) bezeichnete Kreuzgewölbe mit Kufverband ift in der umftehenden Tafel die Stabilitäts-Unterfuchung für den aus Quadermaterial vom Eigengewichte 2,4 t für 1 cbm herzuftellenden Gratbogen *G* auf graphifchem Wege vorgenommen. Derfelbe bildet die Hälfte eines fymmetrifch geftalteten und

fymmetrifch durch lothrechte und wagrechte Kräfte beanfpruchten Diagonalbogens, tritt alfo als die Hälfte eines einfachen, fchmalen Tonnengewölbes auf, deffen Gewölbfchub in einer angenommenen Scheitelfuge eine wagrechte Lage in der Kräfteebene befitzt.

Zunächft ift nach Ausmittelung der inneren Wölblinie des Gratbogens mit Hilfe des grundlegenden Halbkreifes und der angenommenen Stechungshöhe, fo wie nach Beftimmung der Normalfchnitte α, β, γ, deren wagrechte Projectionen α_0, β_0, γ_0 find, das Gewicht der einzelnen Theilftücke des Grates im Plane *A* graphifch dargeftellt.

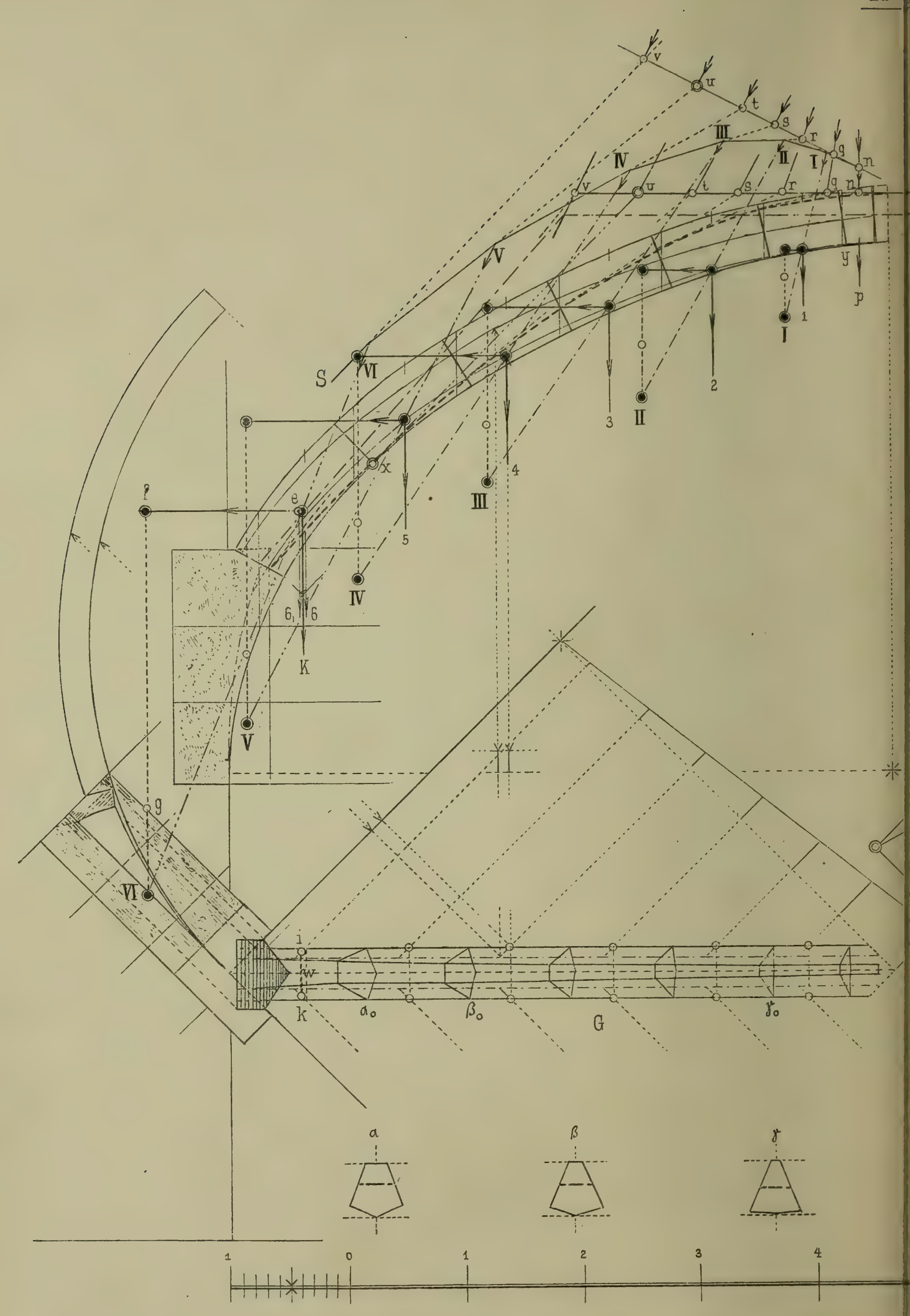
Für diefe Darftellung find die Theilftreifen im Anfchluffe an die Zerlegung der am Grat zufammentreffenden beiden Gewölbkappen in ihre Elementarftreifen entfprechend begrenzt genommen. Diefe Eintheilung in Lamellen ift aus dem Grund- und Aufrifs des Gratbogens zu erfehen. Sie beftimmt im Abftande ihrer Theillinien die Breite der Gratftücke, wonach die mittlere Höhe derfelben in bekannter Weife aus dem Aufrifs zu entnehmen ift. Die Gratbogenftücke find feitlich durch die Widerlagsflächen der Elementarftreifen der Kappen begrenzt. Die geraden Erzeugenden diefer Flächen gehören den verfchiedenen Normalebenen des Gratbogens an; fie befitzen verfchiedene Neigungen zur Wagrechten, und in Folge hiervon ift die mittlere Dicke der Gratbogenftücke gleichfalls von einander abweichend. Die Normalfchnitte α, β, γ u. f. f. dienen zur Ausmeffung der einzelnen mittleren Dicken. Da endlich das Eigengewicht des Grates 2,4, das Eigengewicht des Wölbmaterials aber 1,6 beträgt, fo ift auch das Gewicht der Theilftücke des Grates auf das Eigengewicht des Wölbmaterials zurückzuführen, damit ohne Weiteres, neben Gleichartigkeit in der Behandlung der zu verwerthenden Kräfte, die fchon auf der Tafel bei S. 363 erhaltenen Gewölbdrücke der Elementarftreifen, alfo auch die für den Grat beftimmten refultirenden wagrechten und lothrechten Seitenkräfte derfelben in Benutzung zu nehmen find. Nach den Erörterungen zu Fig. 442 (S. 365) ift im Plane *A* die Strecke $oc = 1{,}6^{\mathrm{m}}$, die Strecke $od = 2{,}4^{\mathrm{m}}$ aufgetragen und fonft ganz nach dem in Art. 249 (S. 363) Gegebenen, unter Beibehaltung der Bafis $oz = 0{,}5^{\mathrm{m}}$, die Ermittelung der Gewichtsftrecke *o 6* vorgenommen. Vereinigt man nun zunächft die refultirenden lothrechten Seitenkräfte der Kappendrücke mit dem Gewichte der zugehörigen Gratftücke, fo erhält man die Mittelkraft aller am betreffenden Gratftücke lothrecht wirkenden Kräfte. So wirkt z. B. das Gewicht *6*, gleich der Strecke *5 6*, in der Mittellinie des letzten Theilftückes; die Gewölbdrücke der zugehörigen Kappenftreifen greifen in *i*, bezw. *k* an; das refultirende Gewicht 6_1, gleich der Strecke $6\,6_1$, aus beiden Drücken hat feinen Angriffspunkt in der Mitte *w* von *ik* in der Kräfteebene des Grates. Bei diefem Stücke ift, da *ik* nicht mit der mittleren lothrechten Theillinie deffelben zufammenfällt, die Mittelkraft *K*, gleich der Strecke $5\,6'$, ihrer Lage nach noch näher beftimmt, was bei den übrigen Theilftücken hier nicht nöthig wird.

Setzt man diefe lothrechten Mittelkräfte eines jeden Stückes mit den refultirenden wagrechten Seitenkräften der Gewölbdrücke, welche aus den zugehörigen Elementarftreifen der Kappen entfpringen, zufammen, was leicht möglich ift, da auch diefe wagrechten Kräfte in der Kräfteebene des Grates liegen, aufserdem bei der ftatifchen Unterfuchung jener Elementarftreifen vollftändig nach Lage, Gröfse und Sinn bekannt geworden find (vergl. die Tafel bei S. 363), fo erhält man nunmehr für jedes Gratftück die für die Stabilitäts-Unterfuchung in Rechnung zu ftellende Hauptrefultirende. So ift z. B. *ef* die refultirende wagrechte Kraft der Gewölbftreifen für das letzte Theilftück des Grates. Da die lothrechte Refultirende $K = 5\,6_1 = fg + gVI$ gefunden, fo giebt das Kräftedreieck *ef VI* in *e VI* die Hauptrefultirende für diefes Stück. In gleicher Weife ift für die übrigen Theilftücke, wie in der Zeichnung deutlich hervorgehoben ift, jede zugehörige Hauptrefultirende feft gelegt.

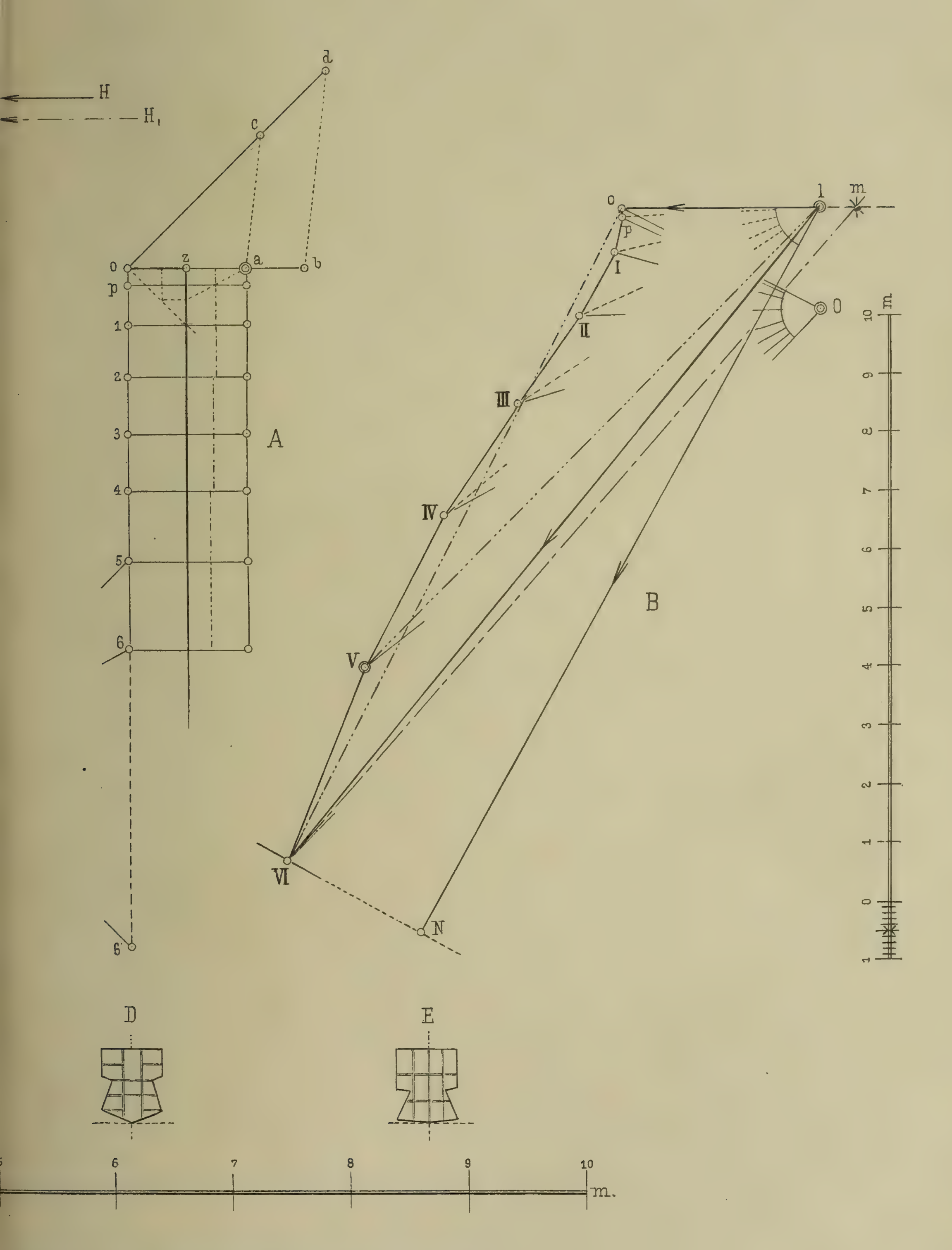
Beim erften höchften Theilftücke des Gratbogens ift im vorliegenden Falle keine wagrechte und keine lothrechte Kraft von den Elementarftreifen vorhanden, fo dafs nur eine lothrechte Kraft *p* gleich der Strecke *op* als Gewicht diefes Gratftückes im Schwerpunkte deffelben wirkend auftritt.

Trägt man die gefundenen Hauptrefultirenden *op*, *p I*, *I II* u. f. f. bis *VI* zu einem Kräftezuge *o VI*, wie hier im Plane *B*, jedoch unter Benutzung eines kleineren, fonft beliebig gewählten Mafsftabes gefchehen, zufammen, zeichnet man unter Annahme eines Poles *O* das Seilpolygon *S* für jene Kräfte, fo läfft fich genau fo, wie für lothrecht gerichtete Kräfte, eine Mittellinie des Druckes für den Gratbogen darftellen. In der Zeichnung ift der höchfte Punkt der Fuge *y* als Angriffspunkt eines etwa möglichft kleinften wagrechten Gewölbfchubes angenommen. Die mit dem gefundenen Horizontalfchube *H*, gleich der Strecke *I o*, im Plane *B* gezeichnete Mittellinie des Druckes zeigt im Punkte *x* eine Bruchfuge an, bleibt aber in ihrem Verlaufe ganz innerhalb der Kräftefläche des Gratbogens. Da auch keine Gefahr gegen Gleiten fich erkennbar macht, fo ift der gewählte Gratbogen ftandfähig. Wollte man eine Mittel-





Stabilitäts-Unterfuchung des Gratbogens ei



cylindrifchen Kreuzgewölbes mit Kufverband.



linie des Druckes eintragen, welche thunlichſt durch die Mitten der Theilfugen des Grates geht, ſo würde dieſer ein Horizontalſchub $H_{,}$ zukommen.

Die für die Beſtimmung der einzelnen Drucklinien eintretenden, durch Zeichnung zu ſchaffenden Gebilde ſind aus der Tafel zu erſehen.

Nach Ausmeſſung der Kraftſtrecke lo und der für den Normaldruck der Widerlagsfuge entſtehenden Kraftſtrecke lN des Planes B läfſt ſich bei einer gewählten Breite des Gratbogens ſeine Stärke (Höhe) berechnen.

Wäre der Gratbogen aus Backſtein ausgeführt, ſo hätte man, da $lo = 3{,}4^{m}$ und die Baſis nach wie vor $0{,}5^{m}$ beträgt, bei einer Breite von 2 Stein gleich $0{,}51^{m}$ den Gewölbſchub $\mathfrak{H}_0$, bezogen auf eine Tiefe (Breite) des Gratbogens von der Längeneinheit (1^{m}), ſofort als

$$\mathfrak{H}_0 = 3{,}4 \cdot 0{,}5 \cdot \frac{1}{0{,}51} = 3{,}33 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

Dieſem Werthe entſpricht nach der Tabelle auf Seite 202 eine Gewölbſtärke von 2 Stein in genügender Weiſe, ſo dafs die Anordnung des Grates nach D und E in der Zeichnung erfolgen könnte. Der Normaldruck $\mathfrak{N}_0$ ergiebt ſich, da $lN = 14^{m}$ gefunden iſt, als

$$\mathfrak{N}_0 = 14 \cdot 0{,}5 \cdot \frac{1}{0{,}51} = 13{,}71 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

In jener Tabelle überſchreitet dieſer Werth den bei einer Stärke von 2 Stein aufgeführten Normaldruck N von 11,07 Quadr.-, bezw. Cub.-Met., ſo dafs bei einem Gratbogen aus Backſtein bei dem hier unterſuchten Gewölbe mit quadratiſchem Grundriſs und 8^{m} Spannweite eine Verſtärkung um $^1/_2$ Steinlänge vom Scheitel nach dem Widerlager angezeigt iſt.

Der Gratbogen ſoll aber aus Quadermaterial vom Eigengewicht 2,4 beſtehen. Die durchſchnittliche mittlere Breite oder die Dicke deſſelben, welche jetzt in Rechnung kommt, iſt jedoch nach den Normalſchnitten α, β, γ nur gleich $0{,}30^{m}$. Für die Berechnung der Stärke des Gratbogens ſind die Linienwerthe $lo = 3{,}4^{m}$ und $lN = 14^{m}$ des Planes B maſsgebend. Dieſelben ſind jedoch unter Zurückführung des Eigengewichtes 2,4 des Quadermaterials auf 1,6 des Wölbmaterials erhalten. Aus dieſem Grunde iſt die Ermittelung des wagrechten Druckes $\mathfrak{H}_{,}$ im höchſten Punkte der Scheitelfuge y und des Normaldruckes $\mathfrak{N}_{,}$ in der Widerlagsfuge über dem Anfänger des Grates unter Berückſichtigung des Verhältniſſes von 1,6 : 2,4 vorzunehmen. Danach erhält man, da die Baſis $oz = 0{,}5^{m}$ unverändert bleibt, jetzt

$$\mathfrak{H}_{,} = 3{,}4 \cdot \frac{1{,}6}{2{,}4} \cdot 0{,}5 \cdot \frac{1}{0{,}30} = 3{,}77 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

und

$$\mathfrak{N}_{,} = 14 \cdot \frac{1{,}6}{2{,}4} \cdot 0{,}5 \cdot \frac{1}{0{,}30} = 15{,}55 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

Setzt man in Gleichung 142 (S. 185) ſtatt H den Werth $\mathfrak{H}_{,}$, ſo ergiebt ſich die geſuchte Stärke des aus Quadern anzufertigenden Gratbogens als

$$d = \frac{1}{60}\sqrt{(180 - 3{,}77)\, 3{,}77} = 0{,}43^{m},$$

und führt man in Gleichung 148 (S. 186) für N die Gröfse $\mathfrak{N}_{,}$ ein, ſo erhält man

$$d_{,} = \frac{1}{180}\sqrt{(540 - 15{,}55)\, 15{,}55} = 0{,}50^{m}.$$

Auch hiernach iſt die Vornahme einer allmählichen Verſtärkung des Gratbogens vom Scheitel nach dem Widerlager zweckmäſsig.

In der Zeichnung war die Stärke des Gratbogens ſchätzungsweiſe zu $0{,}50^{m}$ angenommen. Die Rechnung erfordert keine Vermehrung derſelben, ſo dafs die ſtatiſche Unterſuchung des Grates abgeſchloſſen werden kann.

254.
Kreuzgewölbe mit Schwalbenſchwanz-Verband.

In gleicher Weiſe würde auch die Beſtimmung der Gratſtärke für ein Kreuzgewölbe mit rechteckigem Grundriſs und Einwölbung auf Kuf getroffen werden können. Bei der Einwölbung der Kappen auf Schwalbenſchwanz-Verband bleiben die Grundlagen für die ſtatiſche Unterſuchung der Gratbogen ebenfalls beſtehen. Nur iſt hierbei zu beachten, dafs, wie früher bereits bemerkt, von den einzelnen Gewölbſtreifen der Kappen, alſo hier der an einem und demſelben Grat liegenden Kappen-

hälften, im Allgemeinen auf den Gratbogen nur lothrecht wirkende Belaftungen, wie z. B. T_0 und G_0 auf der Tafel bei S. 370, übertragen werden, welche alsdann mit dem Gewichte G des zugehörigen Gratftückes unmittelbar zu einer lothrecht wirkenden Refultirenden W zufammenzufetzen find. Durch eine leicht zu treffende Geftaltung der Querfchnittsfläche des Gratbogens und der damit verbundenen Schwerpunktslage deffelben ift dahin zu ftreben, dafs die fämmtlichen derartigen Refultirenden für alle Theilftücke in eine und diefelbe lothrechte Ebene innerhalb des Grates fallen, welche alsdann die Kräfteebene des Gratbogens bildet.

255. Kreuzgewölbe ohne Gratbogen.

Sind bei Kreuzgewölben von geringer Weite befondere Gratbogen nicht vorhanden, fo ift offenbar auch keine Stabilitäts-Unterfuchung für einen Grat vorzunehmen. Wohl aber machen fich in der Ebene des Zufammenfchnittes der Kappen, alfo in der Ebene der Gratlinie, Kräfte der Elementarftreifen der Kappen in ähnlicher Weife geltend, wie bei den Kreuzgewölben mit befonderen Gratbogen. Diefe Kräfte find bei der Beftimmung der Widerlagsftärke der Gewölbe ohne felbftändigen Grat eben fo in Betracht zu ziehen, wie bei den mit Gratbogen verfehenen Kreuzgewölben.

γ) Stärke der Widerlager.

256. Kreuzgewölbe mit Gratbogen.

Bei den offenen Kreuzgewölben find die Stirnmauern durch Oeffnungen frei gehalten, welche unterhalb des Randbogens der Kappen mit Gurtbogen abgefchloffen werden, deren Wölblinien den Stirnlinien des Gewölbes meiftens entfprechend gekrümmt gewählt werden. Diefe Gurtbogen finden mit den Kreuzgewölben felbft ein gemeinfchaftliches Widerlager an den Eckpfeilern des überwölbten Raumes. Diefe Eckpfeiler find die Stützkörper des Wölbfyftems. Die Stärke derfelben hängt bei den offenen Kreuzgewölben alfo gleichzeitig von den Gewölbdrücken der ihnen zugewiefenen Gurtbogen und von den in den Gratbogen der Kreuzgewölbe wirkenden Gewölbfchüben ab. Die Vereinigung diefer beiden Gruppen von Kräften mit dem Gewichte der Widerlagspfeiler bildet den Ausgangspunkt für die ftatifche Unterfuchung und Beftimmung der Stärke diefer Stützkörper. Die mafsgebenden Grundlagen für folche Unterfuchungen find bereits in Art. 143 (S. 197) beim Tonnengewölbe gegeben. Die Anwendung derfelben bei den Widerlagern der offenen cylindrifchen Kreuzgewölbe foll auf der neben ftehenden Tafel gezeigt werden. Das hier gewählte Kreuzgewölbe entfpricht in feinen Abmeffungen und Anordnungen der in Art. 248 (S. 363) als Beifpiel 1 gegebenen Gewölbanlage. Die halbkreisförmigen Gurtbogen G_0 fammt ihrer Aufmauerung follen aus Quadermaterial vom Eigengewicht 2,4 beftehen, wie folches auch für die Gratbogen jenes Gewölbes vorgefehen war.

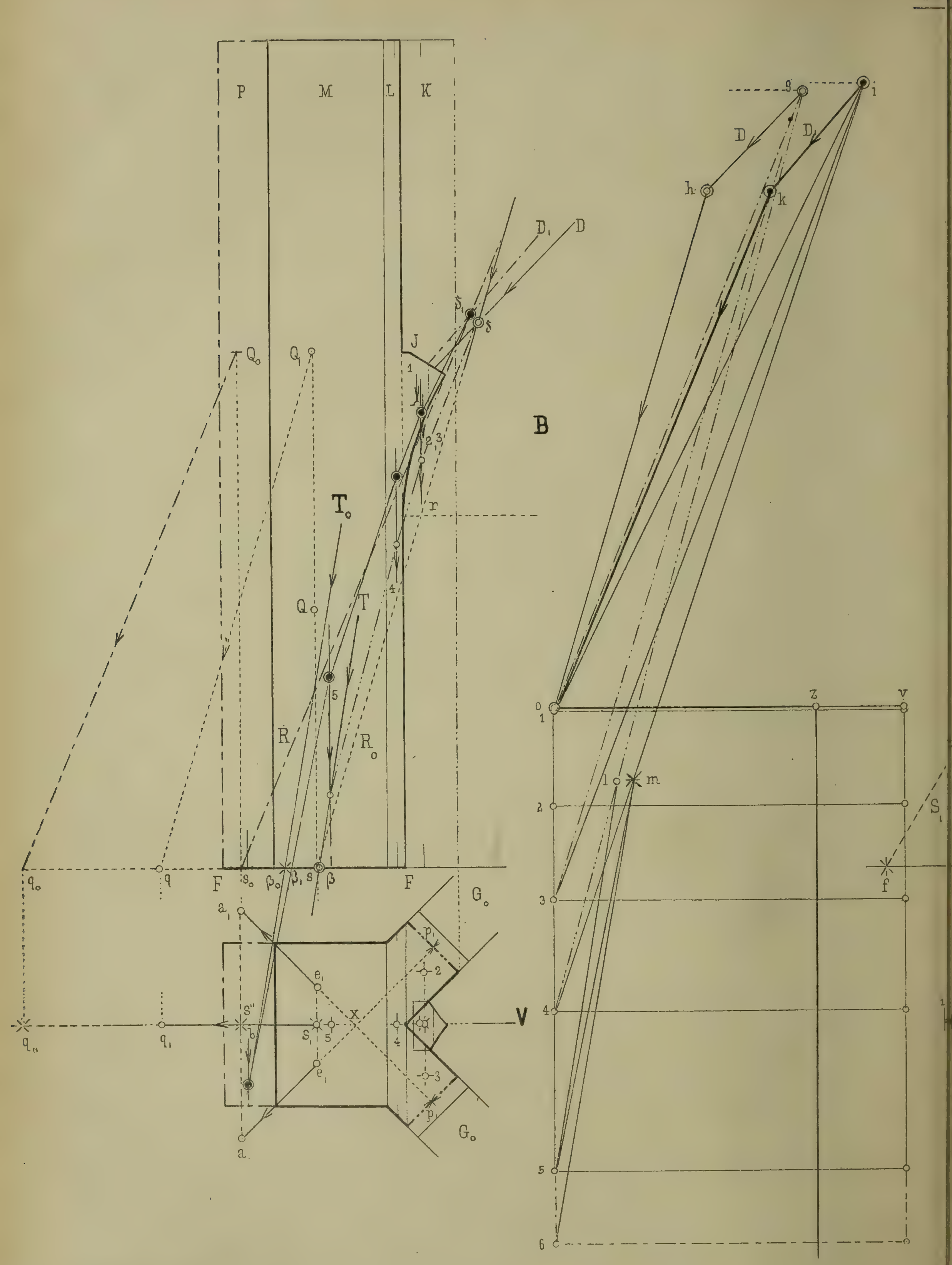
Zuerft ift im Plane A der neben ftehenden Tafel, unter Einführung einer beliebig gewählten Bafis $oz = 3^m$, der feften Länge $zv = 1^m$ und der Tiefe $vw = 0{,}80^m$ der beiden gleichen und gleich belafteten Gurtbogen G_0 von je 6^m Spannweite, die Gewichtsftrecke oQ einer Hälfte diefer fymmetrifch geformten und belafteten Tonnengewölbe bis zu der durch p geführten Lothrechten py ermittelt. Sodann ift in bekannter Weife der Horizontalfchub H_0 im höchften Punkte der Scheitelfuge, bezw. der Gewölbfchub S, welcher auf die Widerlagsfuge am Anfänger des Gurtbogens kommt, beftimmt. Berechnet man die Stärke des Gurtbogens, fo ergiebt fich, da $ao = H_0 = 1{,}25^m$ mifft, der in Gleichung 142 (S. 185) für H einzufetzende Werth

$$H_0 = 1{,}25 \cdot 3 \cdot \frac{1}{0{,}80} = \infty\, 4{,}7 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

Hiernach wird

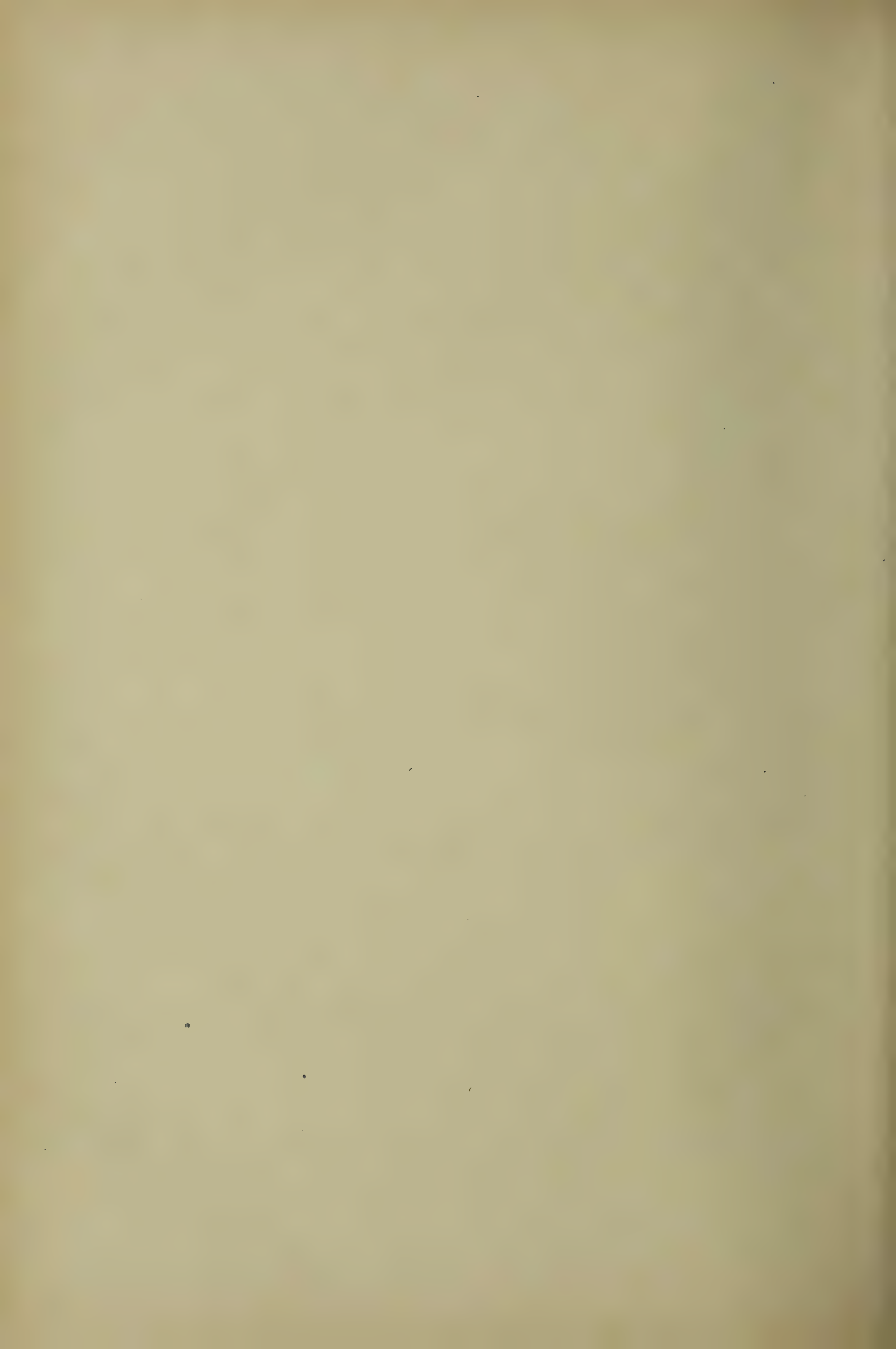
$$d = \frac{1}{60} \sqrt{(180 - 4{,}7)\, 4{,}7} = \infty\, 0{,}48^m .$$




P
M
L
K
D
D
g
i
h
k
B
T
R
F
V
z
v
m
f
G



Stabilitäts-Unterfuchung des Widerlagers für ein cylindrifches Kreuzgewölbe mit Gratbogen.



Für den Normaldruck in der Widerlagsfuge ift $a\alpha = 3{,}2$ m beftimmend. Man erhält

$$N_0 = 3{,}2 \cdot 3 \cdot \frac{1}{0{,}80} = 12 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

Für N in Gleichung 148 (S. 186) diefe Zahl 12 eingefetzt, giebt

$$d_{,} = \frac{1}{180} \sqrt{(540 - 12)\, 12} = 0{,}44 \text{ m}.$$

Der Gurtbogen ift alfo 0,48 m ftark zu nehmen. In der Zeichnung war auf Grund einer nach Art. 138 (S. 190) geführten Vorunterfuchung diefe Stärke angenommen.

Der Gewölbfchub S, abhängig von dem hier möglichen kleinften Horizontalfchube H_0, nimmt einen kleinften noch zuläffigen Grenzwerth an. Gehörig erweitert fchneidet die Richtung von S die Grundebene pf des Stützkörpers in e im Abftande pe von der Lothrechten py. Für die Beftimmung der Widerlagsftärke ift nach Art. 142 (S. 197) aber diefer Gewölbfchub beffer abhängig zu machen von einem Horizontalfchub H_1, welcher im Mittelpunkte der Scheitelfuge angreift und mit der Belaftung des Gurtbogens eine Refultirende S_1 erzeugt, welche durch den Mittelpunkt der Kämpferfuge geht. Auch diefer Gewölbfchub $S_1 = cQ$ für den Horizontalfchub $H_1 = co$ ift auf der neben ftehenden Tafel beftimmt. Derfelbe trifft die Grundebene pf des Widerlagskörpers im Punkte f.

Jeder der beiden Gurtbogen G_0 liefert alfo als Beanfpruchung des Eckpfeilers des Kreuzgewölbes diefe Gewölbfchübe S, bezw. S_1. Werden zunächft die beiden Gewölbfchübe S betrachtet, fo liegen ihre Angriffspunkte in der Grundebene des Eckpfeilers nach dem Plane B der neben ftehenden Tafel je für fich in den Punkten $e_{,}$ ihrer Kräfteebenen, und $p_{,}e_{,}$ ift gleich pe des Planes A. Die lothrecht durch $e_{,}$ gerichtete Seitenkraft des Schubes S ift gleich dem Gewichte oQ und die wagrecht in $e_{,}$ nach $e_{,}a_{,}$ gerichtete Seitenkraft von S ift gleich $H_0 = ao$. Setzt man die beiden lothrechten und gleich grofsen Seitenkräfte oQ der Schübe S beider Gurtbogen zu einer Mittelkraft gleich $2\,oQ$ zufammen, fo liegt ihr Angriffspunkt im Halbirungspunkte $s_{,}$ der Geraden $e_{,}e_{,}$ und weiter in der Richtung der lothrechten Kräfteebene V des Gratbogens des Kreuzgewölbes. Setzt man ferner die beiden wagrechten Seitenkräfte $H_0 = ao$ in x in der Grundebene des Eckpfeilers zu einer Mittelkraft zufammen, fo liegt diefelbe gleichfalls in der Ebene V. Die Gröfse diefer Mittelkraft findet man einfach als bo des Kräftedreieckes bao, worin $ba = ao = H_0$ ift. Verlegt man den Angriffspunkt x diefer Mittelkraft in ihrer Richtung nach $s_{,}$ und fetzt man zum Schlufs $s_{,}q_{,} = sq = bo$ mit $sQ_{,} = 2 \cdot oQ$ zu einer Mittelkraft $Q_{,}q$ im Plane B zufammen, fo erhält man in diefer Mittelkraft, welche wiederum in der Kräfteebene V des Gratbogens liegt, der Gröfse und dem Sinne nach den Druck, welcher von den beiden Gurtbogen G_0 auf den Eckpfeiler des Kreuzgewölbes kommt. Diefer Druck ift in feiner Abhängigkeit vom kleinften möglichen Horizontalfchub H_0 ebenfalls am kleinften.

Genau fo ift unter Benutzung des gröfseren Horizontalfchubes $co = H_1$ der gröfsere refultirende Druck $Q_0 q_0$ zu beftimmen. Für denfelben ift $s_0 q_0 = do$ des Planes A und $s_0 Q_0$ wiederum gleich $2\,oQ$. Da der Angriffspunkt des Druckes $Q_{,}q$ in $s_{,}$ der Grundfläche des Eckpfeilers liegt, die lothrechte Projection diefes Punktes in s erhalten wird, fo giebt der durch s parallel zu $Q_{,}q$ gezogene Strahl R_0 die wirkliche Lage jenes Druckes in der Kräfteebene V.

Für den gröfseren Druck $Q_0 q_0$ ift der Angriffspunkt $s_{,,}$ in der Grundfläche der Mittelpunkt der geraden Linie $a_{,}a_{,}$, wofür $p_{,}a_{,} = pf$ des Planes A fein mufs. Die lothrechte Projection s_0 des Angriffspunktes ift ein fefter Punkt für die zu $Q_0 q_0$ parallel gezogene Gerade R, welche gleichfalls die wirkliche Lage des gröfseren Druckes $Q_0 q_0$ in der Kräfteebene V beftimmt. In diefer Ebene herrfcht nun weiter der von den Gewölbkappen auf ihren zugehörigen Grat übertragene gefammte Druck, welcher fchliefslich vom Gratbogen auf den Eckpfeiler weiter geführt wird.

Nach den zur Tafel gehörigen Ermittelungen kann zunächft wieder der gefundene kleinere vom Gratbogen auftretende Druck D und fodann der gröfsere am Gratbogen beftimmte Druck $D_{,}$ in Betracht gezogen werden.

Nach dem Plane B auf der Tafel bei S. 376 ift D mit Hilfe der Kraftftrecke $l\,VI$, dagegen $D_{,}$ unter Verwerthung der Strecke $m\,VI$ feft zu legen. In jener Abbildung ift $l\,VI = 14{,}4$ m und die Bafis $oz = 0{,}5$ m, mithin die Kraftftrecke mit einer Mafszahl $14{,}4 \cdot 0{,}5 = 7{,}2$ behaftet. Dort waren die Gewichte auf Wölbmaterial vom Eigengewichte 1,6 zurückgeführt.

Bei der jetzt anzuftellenden Unterfuchung ift jedoch Quadermaterial vom Eigengewichte 2,4 zu berückfichtigen. Hiernach ift alfo die Mafszahl 7,2 durch Multiplication mit $\frac{1{,}6}{2{,}4}$ als $7{,}2 \cdot \frac{1{,}6}{2{,}4} = 4{,}8$ für Quadermaterial zu erhalten. Da endlich in der neben ftehenden Tafel die Bafis zu 3 m feft gelegt war, fo ergiebt fich die im Kräfteplane B einzutragende Kraftftrecke D zu $\frac{4{,}8}{3} = 1{,}6$ m gleich der Strecke gh.

Für die gröfsere Kraftftrecke $D_{,}$, gleich der Strecke ik, findet man die zugehörige Mafszahl, da $m\,VI$ im Plane B der Tafel bei S. 376 $14{,}7^{\,m}$ mifft, nunmehr durch den Ausdruck

$$D_{,} = 14{,}7 \cdot \frac{0{,}5}{3} \cdot \frac{1{,}6}{2{,}4} = 1{,}63^{\,m}.$$

Unter Benutzung der Neigungswinkel $o\,l\,VI$, bezw. $o\,m\,VI$ zur Wagrechten und der Lage der Angriffspunkte der Drücke $l\,VI$, bezw. $m\,VI$ in der Widerlagsfuge am Anfänger des Gratbogens auf der genannten Tafel find die Drücke D und $D_{,}$ für fich eingetragen. Aus der Zufammenfetzung von $D = gh$ und $R_0 = ho$ in δ des Planes B erhält man go als kleineren Gefammtdruck für den Eckpfeiler, während durch die Zufammenfetzung von $D_{,} = ik$ und $R = ko$ in δ, der gröfsere Gefammtdruck für diefen Pfeiler durch io dargeftellt wird.

Nach der Ermittelung diefer Drücke kann nun die Stabilitäts-Unterfuchung des Eckpfeilers, welcher hier gleichfalls aus Quadermaterial vom Eigengewichte 2,4 beftehen foll, ganz nach dem in Art. 143 (S. 197) Gegebenen unter Berückfichtigung der aus der Zeichnung zu erfehenden Lamellentheilung und Gewichtsbeftimmung derfelben ohne weitere Schwierigkeiten vorgenommen werden.

Für den kleineren Druck D tritt die Lamelle M als Grenzftreifen ein. Das Gewicht derfelben ift zur Vermeidung einer zu langen Kräfteftrecke in ein Viertel feiner wirklichen Länge als Strecke 45 dargeftellt. Um dennoch die fehlerlofe Richtung der Mittelkraft T aus dem Kräftezuge gh, ho, $o5$ zu erhalten, ift $l4$ gleichfalls ein Viertel der Länge des Strahles $g4$ zu nehmen. Der Strahl $l5$, welcher für den ihm parallelen Strahl T beftimmend wird, giebt jene Mittelkraft in ein Viertel ihrer Gröfse an. Diefe Endrefultirende fchneidet die Fufsfläche des Eckpfeilers im umringelten Punkte β. Derfelbe liegt von der Aufsenkante der Lamelle M fo weit ab, dafs, wenn die Grundfläche des Pfeilers hier näherungsweife als ein Rechteck angefehen wird, der Punkt β eben an der Grenze des fog. inneren Drittels diefes Rechteckes bleibt. Für den kleinften Druck D würde alfo der Eckpfeiler mit den Theilftreifen K, L und M als ftandfähig gelten können.

Für den gröfseren Druck $D_{,}$ dagegen, welcher zur Herbeiführung eines üblichen Sicherheitsgrades für die Standfähigkeit diefes Eckpfeilers als wirkfam angefehen werden foll, genügt die eben ermittelte Stärke nicht mehr in dem Mafse, dafs eine Endrefultirende 5β, parallel $m5$, innerhalb jenes inneren Drittels bleibt. Danach ift noch eine neue Lamelle P hinzuzufügen. Das Gewicht derfelben ift als Strecke 56 wiederum in ein Viertel der wirklichen Länge gezeichnet, und eben fo ift $m4$ gleich ein Viertel der Länge $i4$. Die Endrefultirende für den Kräftezug ik, ko, $o6$ ift nunmehr das Vierfache von $m6$. Ihre Lage T_0 parallel $m6$ im Pfeiler ift leicht zu beftimmen. Diefe Refultirende trifft die Fufsfläche deffelben im Punkte β_0, welcher das innere Drittel des neuen Pfeilers mit den Theilftreifen K, L, M und P nicht überfchreitet, fo dafs hiermit die Pfeilerftärke beftimmt ift. Die Breite FF beträgt $2{,}1^{\,m}$.

Die Spannweite des Diagonalbogens ift bei dem quadratifchen Grundriffe des hier unterfuchten Kreuzgewölbes von $8^{\,m}$ Seitenlänge gleich $8\sqrt{2} = \infty\, 11{,}3^{\,m}$; folglich ergiebt fich das Verhältnifs der Widerlagsftärke zu diefer Weite des ganzen Gratbogens zu $\frac{2{,}1}{11{,}3}$ als nahezu gleich $\frac{1}{5}$. Beim kleineren Drucke D ift die Widerlagsftärke gleich $1{,}5^{\,m}$, fo dafs nun jenes Verhältnifs in $\frac{1{,}5}{11{,}3}$, d. h. in $\frac{1}{7{,}5}$ umgewandelt würde.

Bei diefer Angabe einer Verhältnifszahl von Widerlagsftärke zur Spannweite eines ganzen Grat- oder Diagonalbogens mufs aber, wenn diefelbe überhaupt Werth haben foll, offenbar die Tiefe des Widerlagers mit beachtet werden. Diefelbe richtet fich, wie aus dem Grundriffe des Eckpfeilers zu erfehen ift, theilweife nach der Tiefe der Gurtbogen G_0. Im Allgemeinen follte die Tiefe der Eckpfeiler nicht unter $\frac{2}{3}$ der in der Richtung V der Gratlinie angetragenen Stärke herabfinken.

257.
Kreuzgewölbe ohne Gratbogen.

Die Stabilitäts-Unterfuchung der Eckpfeiler für Kreuzgewölbe mit felbftändigen Gratbogen und rechteckigem Grundrifs ift auf dem eben befchriebenen Wege gleichfalls auszuführen. Bei Kreuzgewölben ohne befondere Gratbogen ift bei der Beftimmung der Widerlagsftärke das in Art. 255 (S. 378) Gefagte ohne Weiteres zu verwerthen. Hierbei fällt ein fonft vom Gratbogen herrührendes Eigengewicht einfach fort. Drücke, wie D, bezw. $D_{,}$ refultiren allein aus den Gewölbdrücken der in der Gratlinie zufammengefügten Elementarftreifen der Kappen. Das Wefen in der

ftatifchen Unterfuchung der Eckpfeiler für derartige Gewölbe wird dadurch nicht geändert.

258. Pfeiler für vier Gurtbogen.

Treten gegen einen Zwifchenpfeiler in vollftändig fymmetrifcher Anordnung und Belaftung vier Gurtbogen und vier Gratbogen fymmetrifch liegender Kappen einer Kreuzgewölbe-Anlage, fo werden alle wagrechten Seitenkräfte der Drücke, welche von den Gurtbogen und Gratbogen auf den Pfeiler kommen, aufgehoben. Derfelbe wird dann nur durch lothrechte Kräfte beanfprucht. Die ftatifche Unterfuchung derfelben wird danach äufserft einfach und kann hier unterbleiben.

Bei einer Beanfpruchung der Eck- oder Zwifchenpfeiler einer unfymmetrifchen Kreuzgewölbe-Anlage ift die Stabilitäts-Unterfuchung der Stützkörper fchrittweife von Gurtbogen zu Gurtbogen, fo wie von Gratbogen zu Gratbogen zur Ermittelung der Refultirenden der den Stützkörper angreifenden äufseren Kräfte nach den Methoden der graphifchen Statik, wenn auch etwas mühevoll, doch ohne fehr erhebliche Schwierigkeiten, vorzunehmen. Die Endrefultirende diefer angreifenden Kräfte im Raume, wobei fich unter Umftänden ein Kräftepaar geltend machen kann, ift mit dem Gewichte des Pfeilers dann weiter zu vereinigen, um Auffchlufs über die Standfähigkeit des Stützkörpers zu erhalten. Durch Uebermauerung der Gewölbzwickel, bezw. der Stützkörper mufs dahin geftrebt werden, ein etwa fich zeigendes Kräftepaar in feiner Wirkung wieder aufzuheben.

δ) Empirifche Regeln für die Gewölbftärke.

259. Stärke der Kappen.

Sollte bei gröfseren Kreuzgewölbe-Anlagen auch ftets eine gewiffenhafte ftatifche Unterfuchung und danach die Berechnung der Gewölbftärke ftattfinden, fo hat man doch bei den in der Praxis fo häufig zur Ausführung gelangten und noch vielfach angewandten cylindrifchen Kreuzgewölben der Erfahrung im Allgemeinen entfprechend die folgenden Regeln für die Beftimmung der Gewölbftärke aufgeftellt.

Die Stärke der Kappen der halbkreisförmigen, bezw. elliptifch-cylindrifchen Kreuzgewölbe, welche aufser ihrem eigenen Gewichte befondere Belaftungen nicht aufzunehmen haben, kann bei der Verwendung von gutem Backfteinmaterial, einem fehlerfreien, nicht zu langfam bindenden Mörtel und unter der Vorausfetzung einer forgfältigen Ausführung bei einer Spannweite bis zu 6 m ½ Stein, bei einer Weite bis zu 9 m ½ Stein im Scheitel und 1 Stein am Widerlager betragen. Geht die Spannweite über 9 m hinaus, fo giebt man den Kappen zweckmäfsig durchweg 1 Stein Stärke.

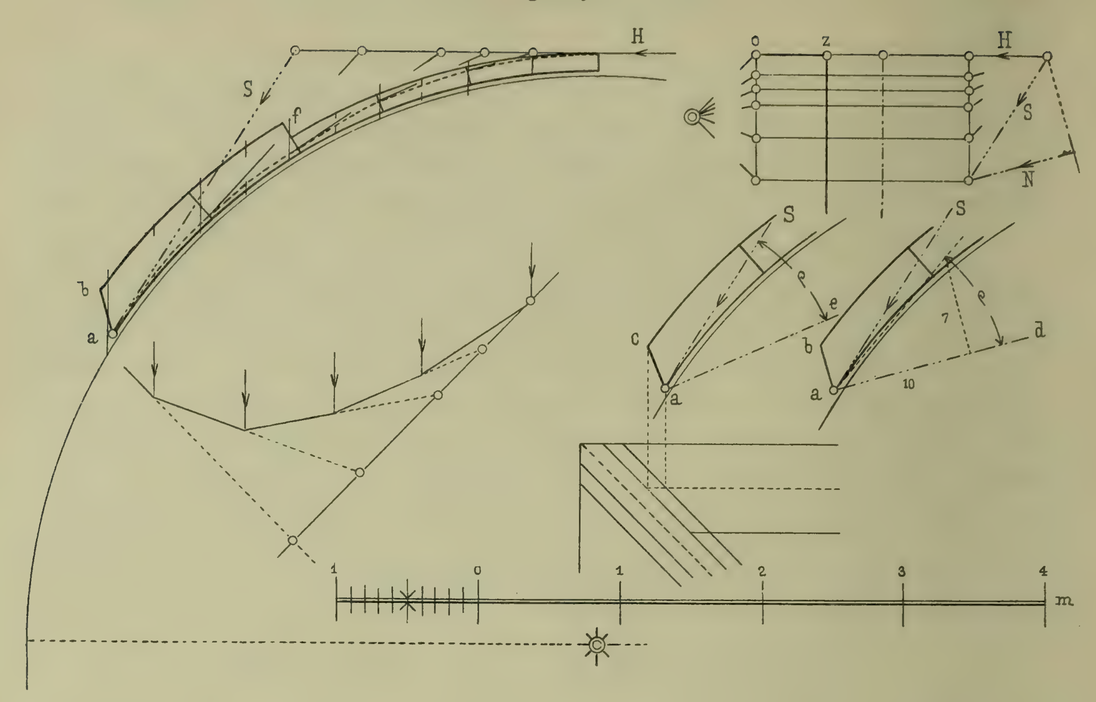
Im Hochbauwefen kommen Kreuzgewölbe, welche gröfsere Kappenftärken als 1 Stein erfordern, felten vor.

Bei Kreuzgewölben, deren Kappen aus hinreichend feften und lagerhaften Bruchfteinen oder aus gutem Quadermaterial einzuwölben find, kann die Kappenftärke ungefähr gleich $\frac{1}{25}$ ihrer Spannweite genommen werden.

Dafs diefe nach empirifchen Regeln angegebenen Stärken unter Umftänden noch einer Prüfung auf ihre Stichhaltigkeit unterzogen werden follten, mag durch Fig. 445 nachgewiefen werden.

Für das im Art. 248 (S. 363) gegebene Beifpiel 1 ift bei dem mitgetheilten Kreuzgewölbe eine Spannweite von 8 m vorhanden. Hiernach könnte den vorhin angeführten Abmeffungen zufolge eine Stärke der Kappen gleich ½ Stein im Scheitel und 1 Stein bei den Schichten in der Nähe des Widerlagers genommen werden. Die in der Zeichnung vorgeführte ftatifche Unterfuchung eines derartigen, an der Stirnmauer liegenden gröfsten Kappenftreifens, deffen Breite hier wiederum zu 0,60 m angenommen ift,

Fig. 445.



ergiebt für die Berechnung feiner Stärke, da $H = 0{,}55$ m und $N = 0{,}76$ m gefunden werden, bei der Bafis $oz = 0{,}5$ m

$$\mathfrak{H} = 0{,}55 \cdot 0{,}5 \cdot \frac{1}{0{,}60} = \backsim 0{,}46 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

und

$$\mathfrak{N} = 0{,}76 \cdot 0{,}5 \cdot \frac{1}{0{,}60} = 0{,}633 \text{ Quadr.-, bezw. Cub.-Met.}$$

Ein Vergleich diefer Werthe für $\mathfrak{H}$ und $\mathfrak{N}$ mit den in der Tabelle auf S. 202 enthaltenen Gröfsen H und N zeigt, dafs $\mathfrak{H}$ eine etwas gröfsere Stärke als $^1/_2$ Stein, $\mathfrak{N}$ aber für die Stärke am Widerlager noch keine Dicke von 1 Stein fordert.

Da $N = 0{,}6$ Quadr.-, bezw. Cub.-Met. in jener Tabelle eine Stärke von $^1/_2$ Stein geftattet, fo kann man auch unter Zulaffung einer etwas gröfseren Preffung im Scheitel für $\mathfrak{H} = 0{,}46$ Quadr.-, bezw. Cub.-Met. die Stärke von $^1/_2$ Stein füglich gelten laffen, und die Kappe in der nach der empirifchen Regel empfohlenen Weife mit einer Verftärkung nach dem Widerlager geftalten.

Wohl aber follte dabei noch geprüft werden, ob, bei der oft fteil gehaltenen Anarbeitung der Widerlagsfläche am Grat, die Richtung des hier wirkenden Gewölbfchubes S mit der Senkrechten auf der Fuge ab die Gröfse des zuläffigen Reibungswinkels ρ nicht überfchreitet.

Nach der urfprünglichen Annahme der Widerlagsfuge ab ift hier der Winkel Sad gröfser als der Winkel ρ. Hieraus folgt, dafs die Widerlagsfuge, wie z. B. ac, fo gerichtet fein foll, dafs der Winkel Sae mindeftens gleich dem Winkel ρ wird, d. h. diefe Widerlagsfuge foll, um ein Gleiten des Streifens am Grat zu unterdrücken, überall nicht zu fteil geftellt werden.

Aufserdem fei darauf hingewiefen, dafs zur geeigneten Erzielung einer ftetigen Zunahme der Gewölbftärke vom Scheitel bis zum verftärkten Anfatze in der Kappe ein Ausgleich des Zwickels f durch Beton oder durch Ausfüllung mit Mörtel und Steinbrocken anzurathen ift.

260.
Stärke der Grate.

Cylindrifche Kreuzgewölbe von geringer Spannweite, welche etwa $3{,}0$ m bis $3{,}5$ m beträgt, erhalten, wenn keine fremde Belaftung in Rechnung zu bringen ift, recht oft weder eine Verftärkung im Grat, noch befondere, felbftändig ausgeführte Gratbogen. Ihre Kappen fchneiden in der Ebene der Gratlinie zufammen. Solche Gewölbe find Deckenbildungen mehr untergeordneter Art. Wird die Spannweite

gröfser als 3,5 m oder hat das Gewölbe noch eine Belaftung durch Sandfchüttung oder durch einen darüber befindlichen Fufsboden aufzunehmen, fo tritt bis zu Spannweiten von 6 m, je nach den obwaltenden Umftänden, entweder eine Gratverftärkung, worüber unter 3 bei der Ausführung der Kreuzgewölbe noch das Nöthige gefagt werden foll, oder die Einführung felbftändiger Gratbogen ein.

Bei gröfseren Spannweiten ift die Herrichtung folcher Gratbogen ftets zweckmäfsig. Bei den cylindrifchen Kreuzgewölben erhalten diefe Gratbogen unterhalb der Wölbfläche keine befonders gegliederten Anfätze (Profile); fie laufen vielmehr meiftens in eine Schneide aus, welche dem Zufammenfchnitt der angrenzenden Kappenflächen angehört. Die in lothrechten Ebenen liegenden geraden Erzeugenden der Widerlagsflächen der Kappen haben vom Fufse des Gratbogens bis zum Scheitel deffelben verfchiedene Neigungswinkel zur fenkrechten Richtungsebene des Grates. In Folge hiervon wechfelt in jedem Normalfchnitt deffelben auch feine mittlere Breite. Damit der Gratbogen durch die mittels Abfchrägung feiner fonft lothrechten Seitenflächen zu gewinnenden Widerlagsflächen nicht zu fehr in feinem Verbande, bezw. feinem auf Druck beanfpruchten Körper gefchwächt wird, darf die wagrechte Projection deffelben der Breite nach nicht zu gering bemeffen werden.

Bei Spannweiten der Kappen bis etwa 4 m beträgt diefelbe bei Gratbogen aus Backftein mindeftens 1 Stein, die Höhe oder Stärke des Grates hierbei gleichfalls wenigftens 1 Stein. Bei gröfseren Spannweiten bis etwa 9 m ift die Breite der Gratbogen $1\frac{1}{2}$ Stein, unter Umftänden 2 Stein, ihre Stärke $1\frac{1}{2}$ Stein bis 2 Stein zu nehmen. Sind Gratbogen innerhalb der Spannweiten der Kappen von 4 m bis 9 m bei $1\frac{1}{2}$ Stein Breite im Scheitel 1 Stein ftark angenommen, fo find diefelben nach dem Widerlager auf $1\frac{1}{2}$ Stein zu verftärken.

Bei Kreuzgewölben über 9 m Spannweite giebt nur die ftatifche Unterfuchung des Wölbfyftemes Auffchlufs über die zu wählenden Stärken der Gratbogen, bezw. der Gewölbkappen. Werden bei Backfteinkappen bis etwa 6 m Spannweite ftatt der eigentlichen Gratbogen nur Gratverftärkungen eingeführt, welche mit dem Mauerwerk der Kappen im Verbande ftehen, fo ift diefe Verftärkung bei einer Breite von mindeftens 1 Stein in ihrer Gefammthöhe, einfchliefslich der Kappenftärke über der inneren Gratlinie, gleichfalls nicht unter 1 Stein zu nehmen. Gratbogen aus genügend feften Bruchfteinen oder Quadern follten bei kleineren Kreuzgewölben bis 6 m Weite nicht unter 0,20 m Breite und 0,25 bis 0,30 m Stärke, bei gröfseren Gewölben aber eine Breite von 0,30 bis 0,40 m mit einer Höhe von 0,30 bis 0,50 m erhalten.

261. Widerlagsftärke.

Bei den offenen cylindrifchen Kreuzgewölben aus Backftein, Bruchftein oder Quadern kann unter Berückfichtigung des Verhältniffes der Breite zur Dicke des Widerlagskörpers wie 1 : 1, bezw. 2 : 3 (vergl. Art. 256, S. 380) die Stärke der Eckpfeiler in der Richtung der Gratebene etwa zu $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{4}$ der Weite des ganzen Gratbogens gewählt werden. Hierbei ift die Höhe des Widerlagers von feiner Fufsfläche bis zur Kämpferebene etwa gleich 3 m vorausgefetzt. Bei einer Höhe über 3 m ift jene Stärke um etwa $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{8}$ des ganzen Höhenmafses zu vergröfsern.

Bei den gefchloffenen cylindrifchen Kreuzgewölben ift die Stärke der Mauerkörper an den Ecken des Raumes in der Richtung der Gratebene fchätzungsweife zu $\frac{1}{7}$ der Spannweite des ganzen Gratbogens zu fetzen. Bei einer Widerlagshöhe über 3 m ift diefe Stärke ebenfalls entfprechend zu vergröfsern.

Die flachen Kreuzkappengewölbe erhalten in den meiſten Fällen eine Gewölbſtärke von $^1/_2$ Stein und Gratverſtärkungen oder Gratbogen von 1 bis $1^1/_2$ Stein Breite mit 1 bis $1^1/_2$ Stein Höhe.

Dieſelben Abmeſſungen gelten gewöhnlich auch für nicht ſehr ſtark belaſtete anſteigende Kreuzgewölbe. Die Stärke der Widerlager dieſer zuletzt erwähnten beiden Arten von Kreuzgewölben wird am beſten durch eine ſtatiſche Unterſuchung feſt geſtellt.

ε) Verankerungen.

262. Sichtbare Verankerungen.

Wenn gleich die Stärke der Widerlager, d. h. der Eck- und Zwiſchenpfeiler der cylindriſchen Kreuzgewölbe, von vornherein ſo groſs genommen werden ſollte, daſs dieſelben im Stande ſind, dem vollen Gewölbſchube mit ausreichender Sicher-

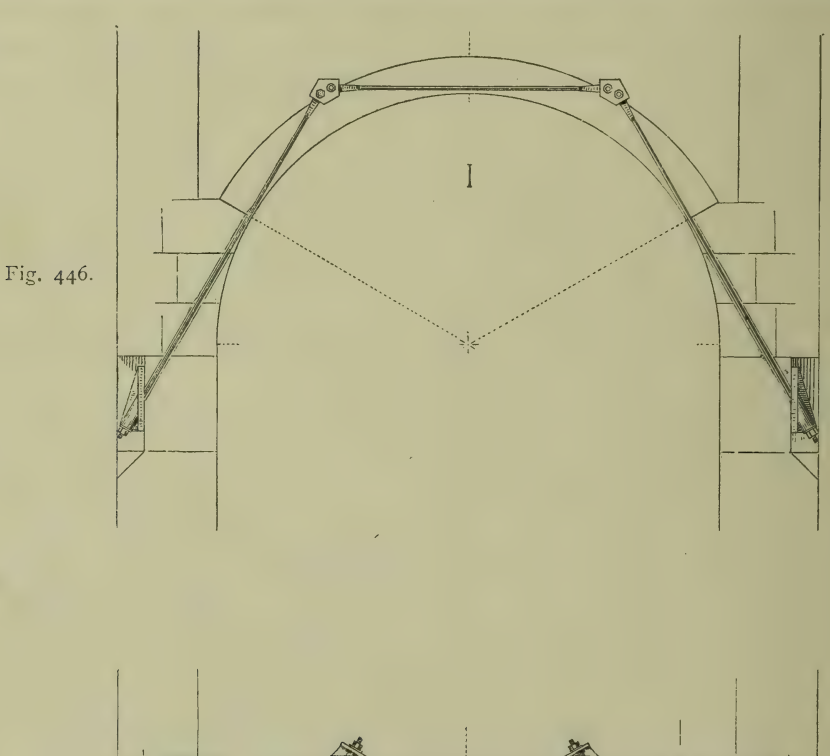


Fig. 446.

Fig. 447.

heit zu widerftehen, fo können doch Umftände eintreten, welche eine befondere Verankerung und damit eine Verftärkung der Widerlagskörper, namentlich der Eckpfeiler, erforderlich machen. Immerhin dürfen diefe Verankerungen bei Kreuzgewölben nur als Nothbehelfe angefehen werden.

Die aus Flach- oder Rundeifen beftehenden Ankerftangen würden ihre günftigfte Lage in der Kämpferebene oder wenig darüber in der Richtung der Gratlinien erhalten, um damit dem Schube der Gratbogen am beften begegnen zu können. Eine folche Anordnung würde auch in wahrheitsgetreuer Weife auf den eigentlichen Zweck der Verankerung hinweifen. Eben fo könnten bei offenen Kreuzgewölben zur Verankerung der Eckpfeiler und auch der Zwifchenpfeiler die einzelnen Gurtbogen durch Ankerftangen, welche in der Kämpferebene angebracht würden, kräftig verfpannt werden. Für diefe einfachen Verankerungen gilt das in Art. 178 (S. 268) beim Kappengewölbe über Verftärkung feiner Widerlager Gefagte ebenfalls.

263. Unfichtbare Verankerungen.

Kommen auch derart angebrachte Verankerungen bei Bauwerken älterer und neuerer Bauperioden vor, fo können diefelben doch in manchen Fällen bei ihrer tiefen Lage unter dem Gewölbfcheitel ftörend fein. Alsdann find die Verankerungen der Grat-, bezw. Gurtbogen nicht mehr fichtbar zu laffen, fondern in das Innere diefer Wölbkörper zu verlegen. Derartige Verankerungen zeigen Fig. 446 u. 447. Bei der Anordnung *I* ift ein Gelenkfyftem gebildet, um ein zweckmäfsiges Einleiten von Zugfpannungen, hervorgerufen vom Gewölbfchube am Widerlager der Grat- oder Gurtbogen, in die einzelnen Theile zu bewirken. Für die Berechnung der Querfchnitte der Zugftangen, Ankerplatten u. f. f. ift aber zweckmäfsig von einem Gewölbfchube auszugehen, welcher einer Maximaldrucklinie im Grat-, bezw. Gurtbogen angehört, fonft jedoch nach dem in Art. 178 (S. 268) Vorgetragenen zu verfahren. Die Verankerung *II*, welche in ihrer aus der Zeichnung deutlich zu erkennenden Anordnung einer von *Durm* bei einem Tonnengewölbe mit Stichkappen ausgeführten Anker-Conftruction [178]) entfpricht, läfft fich auch bei Kreuzgewölben verwenden.

3) Ausführung der cylindrifchen Kreuzgewölbe.

264. Material.

Die Kappen und die Gratbogen der cylindrifchen Kreuzgewölbe find Beftandtheile eines Tonnengewölbes. Ihre Ausführung hat alfo nach den Vorfchriften zu gefchehen, welche in Kap. 9, unter c mitgetheilt find. Selbft die von den Römern gefchaffenen, mit grofsen Spannweiten behafteten Kreuzgewölbe, welche im Allgemeinen aus Backfteinmaterial in Verbindung mit Gufswerk aus Steinbrocken und Mörtel beftanden [179]), hatten die Ausführung der ähnlich hergeftellten Tonnengewölbe zur Grundlage.

Für die Kreuzgewölbe der Jetztzeit werden Backfteine, möglichft leichte, aber dennoch hinreichend fefte, lagerhafte Bruchfteine und unter befonderen Verhältniffen leicht zu bearbeitende Quader zur Einwölbung verwendet. Als Bindemittel dient fehlerfreier Kalkmörtel, verlängerter Cementmörtel oder Cementmörtel allein. Das über diefe Materialien beim Tonnengewölbe in Art. 150 (S. 218) Mitgetheilte trifft auch beim Kreuzgewölbe zu.

265. Lehrgerüfte.

Cylindrifche Kreuzgewölbe werden im Allgemeinen auf einer durch Lehrgerüfte unterftützten Schalung eingewölbt.

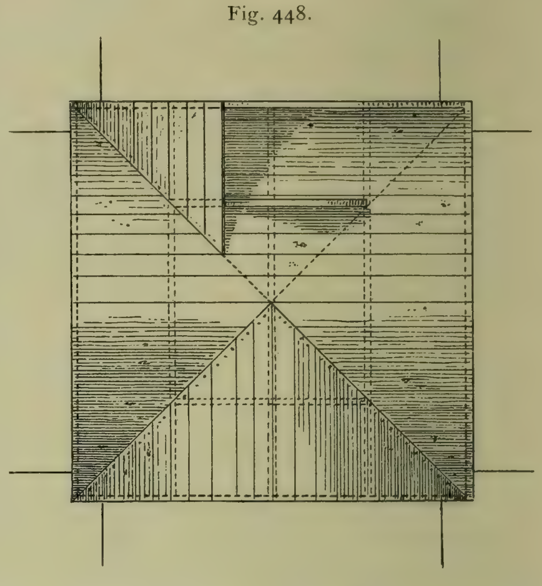
---

[178]) Siehe: Durm, J. Der neue Friedhof in Karlsruhe. Zeitfchr. f. Bauw., S. 3 u. Bl. 1—9.

[179]) Siehe Theil II, Band 2 diefes »Handbuches«.

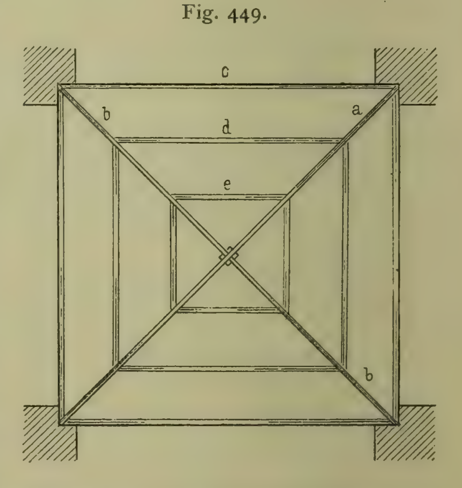
Kleine Gewölbe, bis etwa 4 m Weite, ohne Stechung können, wie in Art. 152 (S. 220) angegeben ift, nach Art eines Tonnengewölbes mit rechtwinkelig angefügten Stichkappen eingefchalt werden (Fig. 448). Hierbei werden an den Stirnen des Kreuzgewölbes einfache Lehrbogen oder auch gewöhnliche Wölbfcheiben als Randbogen aufgeftellt. Zwei einander gegenüber liegende Randbogen tragen eine durchgehende Schalung, welche die Mantelfläche eines gewöhnlichen Tonnengewölbes liefert. Beträgt der Abftand diefer Randbogen über 2 m, fo wird zur befferen Unterftützung der Schalung noch eine Wölbfcheibe oder ein Lehrbogen in der Mitte zwifchen den Randbogen aufgeftellt. Auf der Schalung find die Gratlinien unter Anwendung einer gefärbten Schnur genau und deutlich vorzureifsen. Von denfelben aus erfolgt die weitere Einfchalung der an das Gewölbe tretenden Querkappen bis zu den hierzu gehörigen Lehrbogen oder Wölbfcheiben an den beiden anderen Randbogen. Auch diefe Schalung kann nach Erfordernifs noch durch Wölbfcheiben unterftützt werden, welche alsdann ihr Lager auf der erften Hauptfchalung finden. Je forgfältiger diefe zweite Schalung bezüglich der Gratlinien vorgenommen ift, um fo fchärfer kommen die Grate nach der Ausführung des Gewölbes zum Ausdruck.

Fig. 448.



Gröfsere Kreuzgewölbe, namentlich folche, welche Stechung erhalten follen, müffen in anderer Weife eingerüftet werden. Sowohl für die Gratbogen, als auch für die Gewölbkappen werden befondere Lehrbogen aufgeftellt. Nach Fig. 449 ift mit *a* ein ganzer, von einer Ecke zur gegenüber liegenden Ecke durchgeführter Lehrbogen für einen Gratbogen bezeichnet. Der Lehrbogen des anderen Grates befteht aus zwei Theilen *b*, welche fich gegen den Lehrbogen *a* fetzen und an demfelben fachgemäfs befeftigt werden. Wie beim Klostergewölbe in Art. 216 (S. 322) angeführt, werden diefe Gratlehrbogen auch hier an ihrer Kreuzungsftelle durch einen Pfoften (Mäkler, Mönch) unterftützt. Für die Kappen werden Randlehrbogen *c* und bei gröfserer Länge der Kappen noch in Entfernungen von 1,0 m bis 1,5 m Zwifchenbogen *d*, *e* aufgeftellt. Diefes Bogenfyftem nimmt dann die Schalbretter oder die Schallatten auf. Sie find zur Erzielung einer fcharfen Gratlinie in ihrem Lager auf jedem Gratbogen genau zufammenzufchneiden, fo dafs ihre Fuge hier der Wölblinie des Grates vollftändig entfpricht. Das Austragen der oberen Begrenzungslinien der verfchiedenen Lehrbogen erfolgt

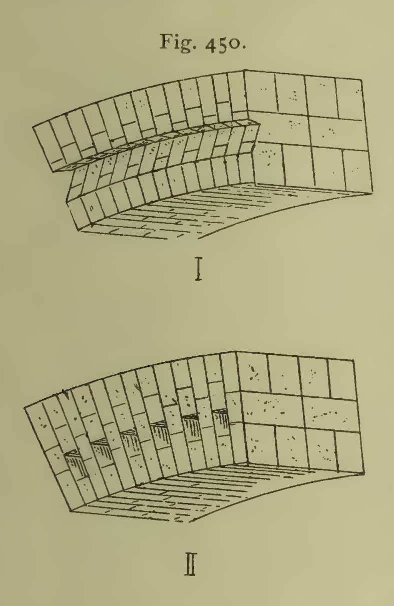
Fig. 449.



in der bei der Ausmittelung der Hauptftücke des Kreuzgewölbes gezeigten Weife. Die Conftruction der Lehrbogen gefchieht nach den in Art. 152 (S. 220) gegebenen Mittheilungen. Eben fo find die Unterlagerungen, Ausrüftungsvorrichtungen und die Schalung des gefammten Lehrgerüftes, wie beim Tonnengewölbe in Art. 154 bis 157 (S. 224 u. ff.) befchrieben, auch für cylindrifche Kreuzgewölbe in Anwendung zu bringen. Offene Kreuzgewölbe erhalten für ihre Gurtbogen felbftredend gleichfalls eine Ausrüftung.

Sollen cylindrifche Kreuzgewölbe aus Backftein oder unter Umftänden auch aus leichtem Tuffftein auf Schwalbenfchwanzverband errichtet werden, fo kann, wenn die Einwölbung von gefchickten Maurern ausgeführt wird, die Einfchalung der Gewölbflächen ganz fehlen. Nur für die Grate werden Lehrbogen aufgeftellt, und hierüber find alsdann bei gröfseren Gewölben die Gratbogen, welche mit entfprechenden Widerlagsflächen für die Kappen zu verfehen find, felbftändig herzuftellen, oder bei kleineren Gewölben unter Berückfichtigung einer Gratverftärkung gleichzeitig mit der Kappenwölbung zu fertigen. Für die Anfätze der Kappen an den Stirnen find nach Fig. 450 entweder wie bei *I* an den Gurtbogen, bezw. an den Stirnmauern die Widerlagsflächen angearbeitet oder wie bei *II* Verzahnungen gelaffen, fo dafs hierdurch eine Lehre für das aus freier Hand zu bewirkende Wölben der Kappen vorhanden ift. Als weitere Lehre dient zweckmäfsig ein Scheitelbrett, welches in feiner Oberkante die Scheitellinie vom höchften Punkte der Randbogen bis zum Gewölbfcheitel angiebt. Ueber diefem Brette, welches gehörig unterftützt ift, fchneiden fich dann die zufammengeftochenen Schichten der Kappen.

Fig. 450.

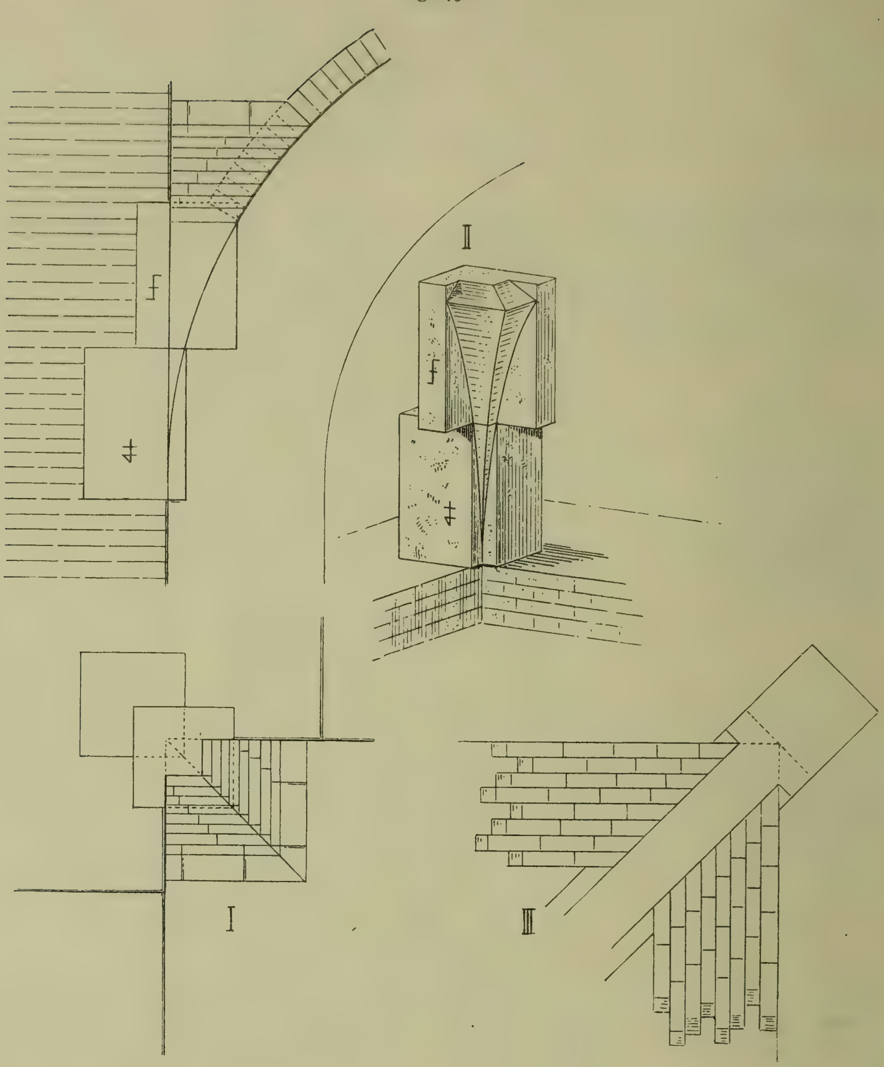


266.
Kreuzgewölbe aus Backfteinen.

Kreuzgewölbe aus Backfteinen können bei geringer Spannweite und mäfsiger Belaftung auf Kuf ohne befondere Gratbogen, häufig auch ohne Gratverftärkung, ausgeführt werden. Die Lagerfugenkanten der Kappen laufen, gleichgiltig, ob das Gewölbe eine Stechung erhält oder nicht, in ihrer wagrechten Projection parallel mit den Axen der Kappen; fie find, wie Fig. 451 bei *I* zeigt, in den einzelnen Schichten auf Verband zu ordnen und an der Gratlinie gegenfeitig zu überbinden, fo dafs nach der Richtung diefer Linie eine Fugenebene nicht eintritt. Die Anfänger an den Ecken des Gewölbes werden durch Auskragen in wagrechten Schichten hergeftellt, bis eine geeignete Fufsfläche für die Gratfteine gewonnen ift. Weit beffer wird jedoch der Anfänger, wie in *II* gegeben, aus feftem Quadermaterial angefertigt. In jedem Falle ift zu beachten, dafs gleich bei der Ausführung der Mauerkörper, welche demnächft die herzuftellenden Kreuzgewölbe begrenzen, diefe Anfänger von der einen oder der anderen Art an richtiger Stelle fchon mit eingefügt werden, damit von Anfang an ein geficherter, kräftig im Mauerwerk eingebundener Gewölbefufs für jede Kappe vorhanden ift. Sollen die Grate eine Verftärkung erhalten, fo kann nach Fig. 452 auch hierbei der Verband auf Kuf angewendet werden.

Sind für gröfsere und etwa ftärker belaftete Gewölbe felbftändige, gleichfalls auf Kuf gewölbte Gratbogen herzurichten, welche alsdann ein geeignet angearbeitetes

Fig. 451.

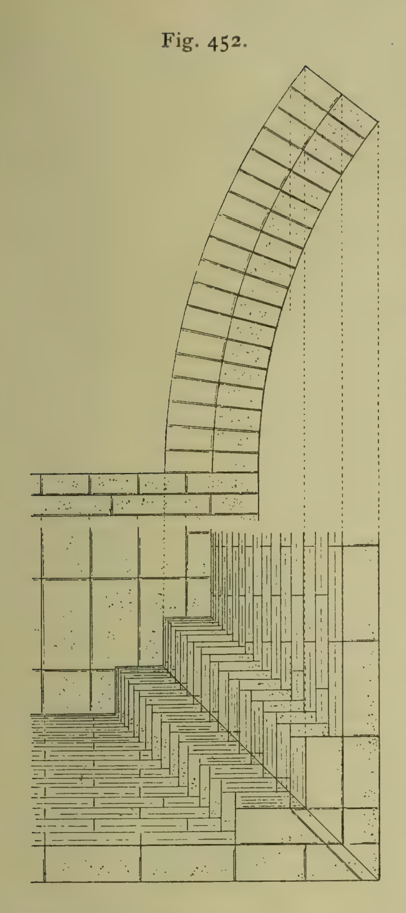


Widerlager für die Kappen bekommen, fo wird hierdurch am Verbande der Kappen nichts geändert, felbft wenn diefelben einer gröfseren Belaftung halber ftatt $^1/_2$ Stein 1 Stein ftark werden müfften.

Beim Vorhandenfein von befonderen Gratbogen kann auch die Einwölbung der Kappen im *Moller*'fchen Verbande nach der Anordnung *III* in Fig. 451 ftattfinden.

In den weitaus meiften Fällen wird die Einwölbung der Kappen der cylindrifchen Kreuzgewölbe aus Backftein auf Schwalbenfchwanz-Verband vorgenommen. Ein einigermafsen weit gefpanntes Gewölbe erhält dann am beften immer felbftändig auf Kufverband ausgeführte Gratbogen. Bei ftrenger und fachgemäfser Durchführung der Wölbung der Kappen auf Schwalbenfchwanz-Verband follen die einzelnen Lagerflächen der Wölbfchichten Ebenen angehören, welche rechtwinkelig zur Richtungsebene des Gratbogens und fenkrecht zur Wölblinie deffelben ftehen. Die Schnittlinien diefer fog. Normalebenen des Grates mit den Kappenflächen bilden die Wölblinien der Schichten. Die jeder Schicht zugehörige Widerlagsfuge, bezw. Widerlagsfläche

Fig. 452.



am Grat- und am Rundbogen foll fenkrecht zu den entftehenden Wölblinien gerichtet fein. Die für diefe Forderungen nothwendigen zeichnerifchen Ermittelungen find in Fig. 453 angeftellt.

Für das zu Grunde gelegte Kreuzgewölbe mit rechteckigem Grundrifs ift der Stirnbogen P der kleinen Seiten ein Halbkreis, der Randbogen U der langen Seiten eine halbe Ellipfe mit der grofsen Halbaxe δu und der kleinen Halbaxe $\delta \delta_1$ gleich dem Halbmeffer γu, bezw. $\gamma \gamma_1$ des Halbkreifes P. Die wagrechte Projection des Gewölbfcheitels ift s; die Geraden $s\gamma$ und $s\delta$ find die wagrechten Projectionen der geraden Scheitellinien für die mit einer Stechung db verfehenen Kappen A und B. Die Richtungsebene des Gratbogens von der Breite $\alpha\beta$ ift Rs.

Nach den in Art. 241 (S. 355) gemachten Mittheilungen ift auf dem aus der Zeichnung erfichtlichen Wege die lothrechte Projection as_1 der Wölblinie des Grates (Gratlinie) erhalten. Diefelbe gehört hier einer Ellipfe mit den halben conjugirten Durchmeffern ab und bs_1 an. Sollten die reellen Axen diefer Ellipfe gefunden werden, fo könnte man fich des in Art. 135 (S. 174) bei Fig. 284 angegebenen Verfahrens bedienen.

Für einen beliebig angenommenen Punkt f der Gratlinie ift mit Hilfe des halben Stirnbogens cs_1, entfprechend dem grundlegenden Halbkreife P, eine Tangente T feft gelegt. Die in f auf T errichtete Lothrechte giebt in NE die Spur der vorhin bezeichneten Normalebene zum Grat in der lothrechten Projectionsebene, während das in E auf ad errichtete Loth EF die Spur jener Normalebene in der wagrechten Kämpferebene beftimmt.

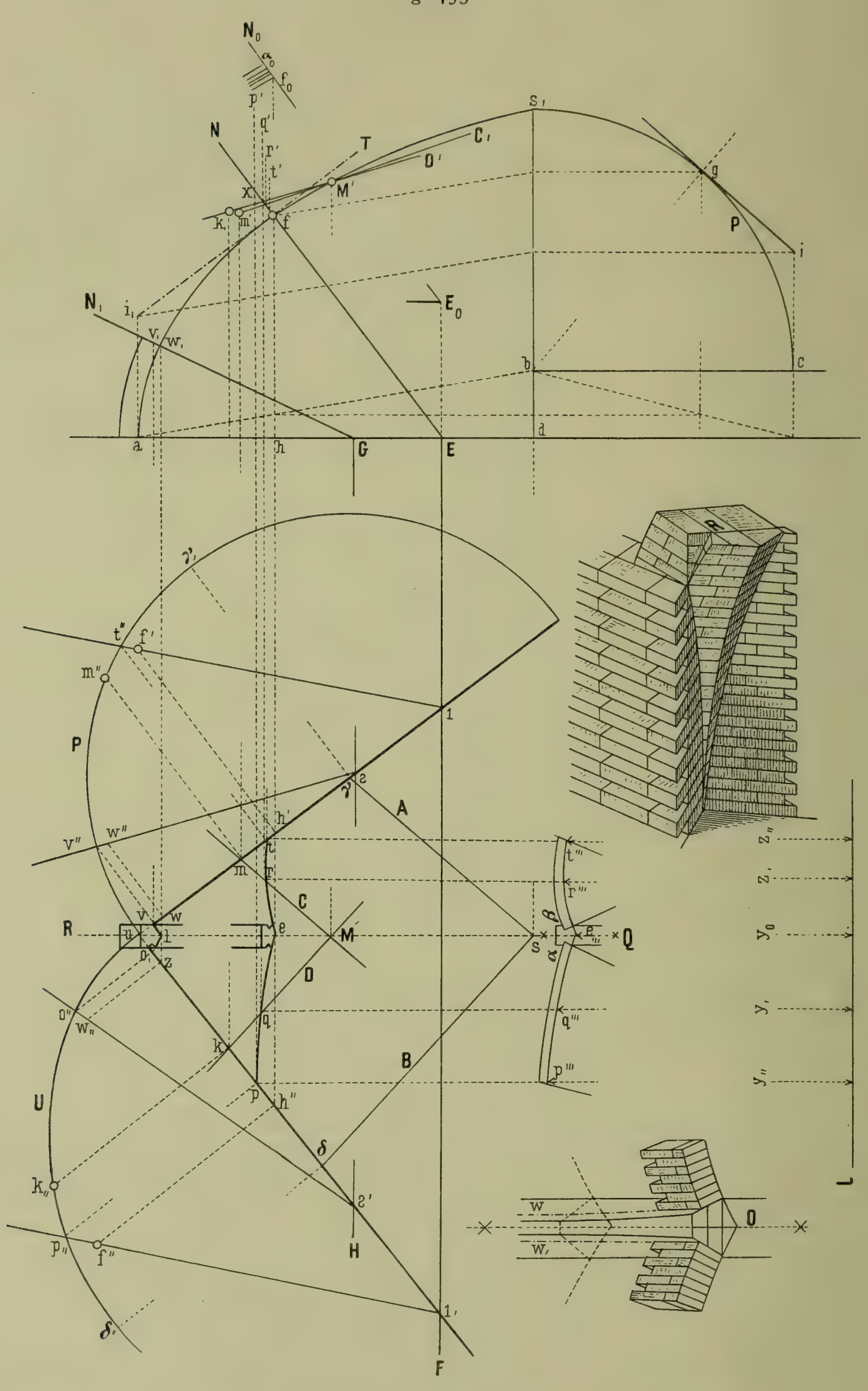
Die Projectionen der Schnittlinien der Normalebene in f mit den Laibungsflächen der Gewölbekappen A und B ergeben fich in folgender Weife. Die wagrechte Projection des Punktes f ift der Punkt e auf Rs. Von e laufen die wagrechten Projectionen ert und eqp diefer gefuchten Schnittlinien aus. Diefelben find von Bedeutung, weil fie für die Richtung der Lagerfugenkanten, bezw. für die Geftalt der Wölblinien der am Gratbogen zufammentretenden Wölbfchichten der Kappen A und B mafsgebend werden. Um den Grenzpunkt t am Stirnbogen P zu ermitteln, ift die Schnittlinie $1t''$ der Normalebene des Grates mit der lothrechten Stirnebene P unter Verwerthung der Höhenlage hf des Punktes f über der Kämpferebene ad gezeichnet. Für diefe Schnittlinie $1t''$ ift, wie fofort erkannt werden kann, $h_1 f_1 = hf$ und der Punkt 1 der Schnittpunkt der Spur EF auf der verlängerten Geraden $u\gamma$. Der Strahl $1f_1$ trifft den Stirnbogen P im Punkte t''. Derfelbe ift die lothrechte Projection des Grenzpunktes der erwähnten Wölblinie in der Kappe A. Die wagrechte Projection deffelben ift der Punkt t auf $u\gamma$.

Zur Beftimmung der Projectionen eines zwifchen den Grenzpunkten e und t gelegenen Punktes folcher Schnittlinie ift der innerhalb e und t an beliebiger Stelle genommene Strahl mM parallel zur wagrechten Projection γs der Scheitellinie der Kappe A gezogen. Derfelbe ift die wagrechte Projection einer geraden Erzeugenden diefer Kappe.

Die lothrechte Projection diefer, der Stechung des Gewölbes entfprechend anfteigenden Erzeugenden ift $m_, M_,$, wobei $M_,$ auf der Gratlinie $as_,$ der Punkt $m_,$ über der Kämpferebene ad offenbar eben fo hoch liegen mufs als $m_{,,}$ am Stirnbogen P über m auf $u\gamma$ liegt. Die lothrechte Projection $m_, M_,$ der benutzten Erzeugenden durchftöfst die Normalebene. Auf die lothrechte Projection diefes Durchftofspunktes in NE ift durch die punktirte Lothrechte $r_,$ hingewiefen. Die wagrechte Projection r deffelben liegt auf mM, und fomit ift der Linienzug ert für die Kappe A ermöglicht. Auf demfelben Wege ergiebt fich der Zeichnung gemäfs der zugehörige Linienzug eqp für die Kappe B, wie überhaupt mehrerer folcher Linien im Wölbgebiete $\gamma s \delta u$.

Die weiteren Wölbgebiete, welche ftets durch die Scheitellinien der einzelnen Kappen getrennt werden, find in gleicher Weife für fich zu behandeln. Auf diefen Scheitellinien treffen fich, dem Wefen des Schwalbenfchwanz-Verbandes nach, die einzelnen Schnittlinien der entfprechenden Normalebenen der Gratbogen.

Fig. 453.



Soll der Gratbogen für die Bogenlänge $a w_1$ in wagrechten Backfteinfchichten ausgeführt werden oder bis dahin reichend einen Anfänger aus Quadern erhalten, fo ift zur richtigen Beftimmung der Widerlagsfläche des Grates in der Höhe w_1 wiederum eine Normalebene, deren Spuren $N_1 G$ und GH find, zu führen, um danach die Projectionen lv und lo, bezw. $w_1 v_1$ der vorderen Kantenlinien der Fufsfläche bei w_1 zu finden.

Um den wirklichen Querfchnitt des Gratbogens und die wirkliche Geftalt der Wölblinien aus-

zutragen, welche dem Normalfchnitte mit den Spuren NE und EF zukommen, ift die erforderliche Zeichnung in Q gegeben.

Für die Wölblinien ift $y_0 = Ef$, $z_, = Er_,$, $z_{,,} = Et$, über der lothrecht zu Rs geführten Linie L, welche danach eine Spur der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes darftellt, abgetragen und dabei y_0 in der Richtung Rs, $z_,$ in der durch r parallel zu Rs gezogenen Linie u. f. f. feft gelegt. Eben fo ift $y_, = Eq_,$ und $y_{,,} = Ep_,$ genommen.

Hiernach erhält man in $f_{,,,} r_{,,,} t_{,,,}$ und in $f_{,,,} q_{,,,} p_{,,,}$ die wirkliche Geftalt jener Wölblinien für die Kappenfchicht in A und B. Da die Breite $\alpha\beta$ und die Höhe des Gratbogens gegeben find, fo läfft fich, fobald die wirkliche Stärke der Wölbfchichten oberhalb der Wölblinien angefetzt ift, mit Leichtigkeit die richtige Stellung der Widerlagsfugen fenkrecht zu den betreffenden Wölblinien am Grat und an den Stirnmauern oder Randbogen eintragen und auch der wirkliche Querfchnitt des Gratbogens, wie bei Q und beim Bilde R vom Anfänger des Grates gezeigt ift, feft ftellen. Die lothrechte Projection $\alpha_0 f_0$ des Gratfchnittes ift in der Richtung $E_0 N_0$ parallel EN nach der Ausmittelung in Q befonders gezeichnet.

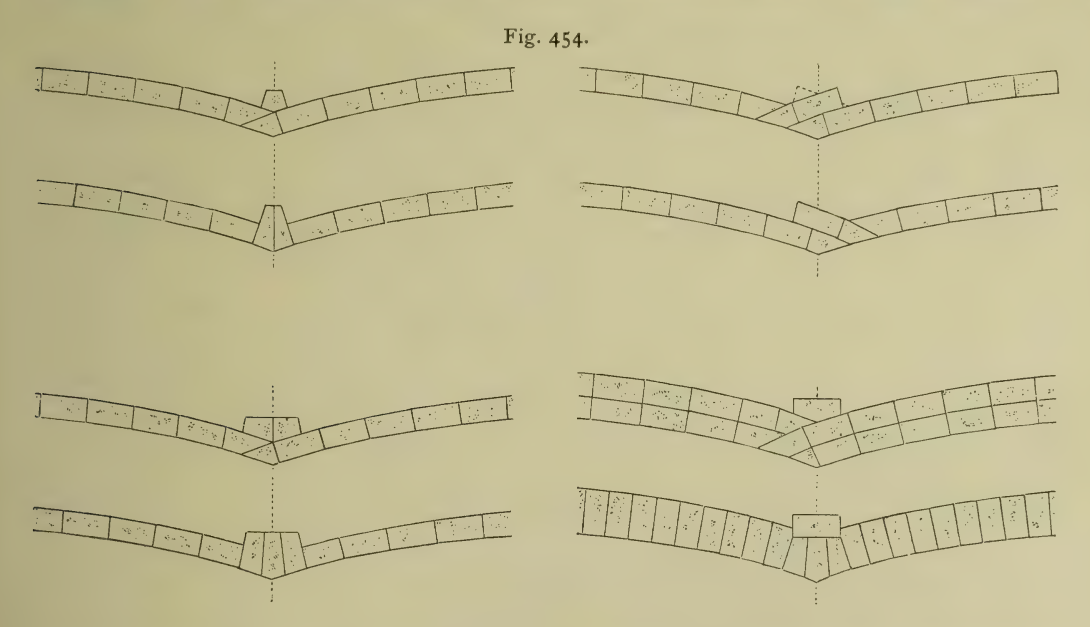
Läfft man nach der Darftellung in O die Widerlagsflächen am Grat nicht in der Form von Falzen, fondern als Flächen auftreten, welche vom Anfatze der Kappen aus nach dem Rücken des Gratbogens vollftändig durchgeführt werden, fo ergiebt fich für den Gratkörper am Rücken zwifchen den gefammten beiden Widerlagsflächen w und $w_,$ in jedem Normalfchnitte eine andere Breite, weil die Neigungswinkel der verfchiedenen Normalebenen zur wagrechten Kämpferebene in ihrer Gröfse ftets von einander abweichen. Diefem Umftande ift bei der Ausführung der Gratbogen dadurch Rechnung zu tragen, dafs mehrere Normalfchnitte für den Grat ermittelt werden. Diefe Arbeit ift im Befonderen nothwendig, fobald die Gratbogen für auf Schwalbenfchwanz-Verband ausgeführte Kreuzgewölbe aus Quadern hergeftellt werden follen.

Die gegebenen Ermittelungen der fog. Normalfchnitte der Gratbogen finden auch bei Kreuzgewölben über beliebig angeordneten regelmäfsigen oder unregelmäfsigen Grundriffen Anwendung.

267. Gratverftärkungen.

Für Kreuzgewölbe ohne felbftändige Gratbogen find Gratverftärkungen ftets zu empfehlen. Namentlich find diefelben beim Schwalbenfchwanz-Verbande gleich in

Fig. 454.



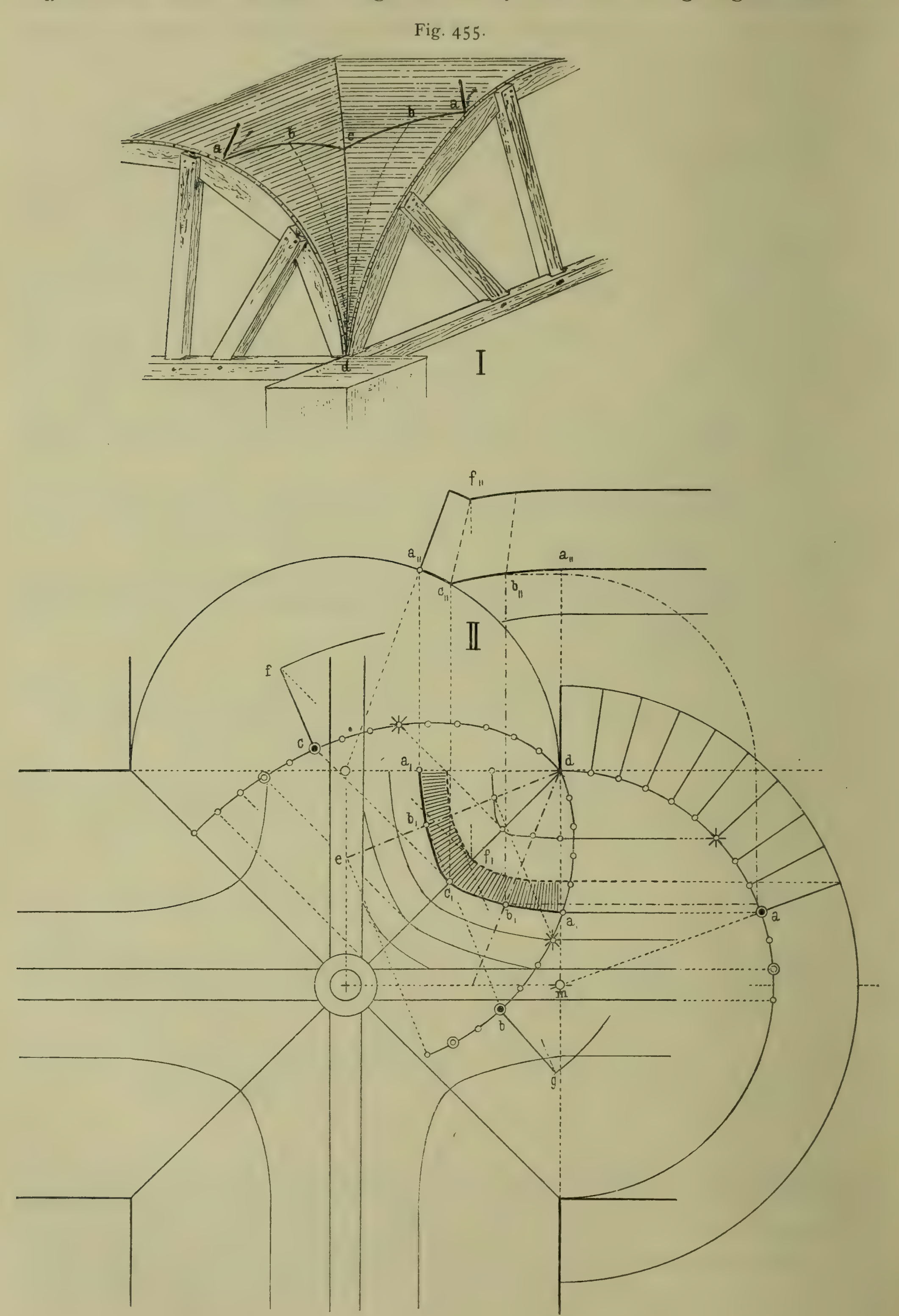
geeigneter Weife mit den über der Gratlinie zufammenfchneidenden einzelnen Wölbfchichten der Kappen in Verbindung zu bringen. In Fig. 454 find derartige Backfteinverbände gegeben.

268. Befondere Verbandarten.

Cylindrifche Kreuzgewölbe, welche mit fehr ftarker Belaftung und dem gemäfs auch mit entfprechend grofser Kappenftärke zu verfehen find, können beim Fehlen

felbftändiger Gratbogen oder der Gratverftärkungen in einem befonderen Kufverbande hergeftellt werden, wobei die wagrechten Projectionen der Lagerfugenkanten von

Fig. 455.



zwei zufammengehörigen Wölbfcharen der benachbarten Kappen nach einem beftimmten Gefetze gebildete krumme Linien find. Ein derartiger Verband ift für quadratifche Kreuzgewölbe aus Backftein von 3 Stein Stärke bei einigen Feftungswerken in Mainz [180]) in Anwendung gebracht (Fig. 455).

Zur Feftlegung der Lagerfugenkanten gilt ein Gefetz, wonach, entfprechend *I* in Fig. 455, vom Fufspunkte *d* eines Gratbogens aus eine unveränderliche Bogenlänge *da*, deren Endpunkt *a* irgend einer Lagerfuge des Stirnbogens angehört, an der Laibungsfläche der zufammentretenden Kappen nach der Darftellung *I* fo um *d* gedreht wird, dafs diefe Bogenlänge ftets auf der Wölbfläche verbleibt und mit dem Endpunkte *a* die Lagerfugenkanten *abc* und *cba* befchreibt. Mit Hilfe einer in *d* befeftigten Schnur laffen fich derart gebildete Lagerfugen auf der Schalung des Kreuzgewölbes für alle Kappen leicht und fo weit erforderlich vorreifsen. Der Plan *II* in Fig. 455 giebt die geometrifche Ermittelung folcher Lagerfugen. Für einen Fugenpunkt *a* am Stirnbogen ift *da* die zugehörige Bogenlänge. Für den nach einer beliebigen lothrechten Ebene durch *d* geführten Kappenfchnitt ift die Bogenlänge *db* ebenfalls gleich jener Bogenlänge *da*. Daffelbe gilt auch für den Gratbogen, wobei Bogenlänge *dc* gleich Bogenlänge *da* genommen ift. Hiernach ergiebt fich die dem Theilpunkte *a* zukommende Lagerfugenkante in der wagrechten Projection als ein Linienzug $a_{,} b_{,} c_{,} b_{,} a_{,}$ und in der lothrechten Projection als $a_{,,} b_{,,} c_{,,} a_{,,}$. Die letztere Darftellung zeigt ein allmähliches Niederfinken der Lagerfugen von den Stirnbogen nach dem Gratbogen. Diefes Fallen der Fugen, welches bei ungeputzten Gewölben der Beobachtung nicht entzogen wird, fchädigt das Anfehen der Kappen aber durchaus nicht.

Die den einzelnen Lagerfugenkanten angehörenden Lagerfugenflächen werden am zweckmäfsigften als Normalflächen ausgeführt, d. h. die geraden Erzeugenden derfelben follen Normalen wie *cf*, *bg* u. f. f. in den betreffenden Bogenelementen *c*, *b* u. f. f. ihrer Schnittcurven fein. Die übrige Anordnung der Lagerfugen bei den durchgeführten, geradlinig begrenzten Schlufsfteinfchichten ift aus der Zeichnung zu entnehmen.

269.
Zwickel-
ausmauerung.

Bei den Kreuzgewölben bilden fich oberhalb des Rückens und des Gewölbefufses an den Ecken des überwölbten Raumes ftets trichterartige Vertiefungen. Die Ausfüllung diefer fchachtartigen Zwickel mit Backfteinmauerwerk oder Grobmörtel (Beton) follte bei halbkreisförmigen, bezw. halbelliptifchen Kreuzgewölben immer ftattfinden, weil eine folche Ausfüllung für die Stabilität diefer Kreuzgewölbe im Allgemeinen günftig wirkt. Die Zwickelausmauerung oder -Füllung kann etwa bis zu ein Drittel der Wölbhöhe der Gratbogen reichen. Bei Kreuzkappengewölben oder bei anfteigenden Kreuzgewölben wird das Anbringen der Zwickelausmauerung jedoch zweckmäfsig erft auf Grund einer Stabilitäts-Unterfuchung entfchieden, um hiernach, namentlich bei gröfseren Anlagen, etwaige Vortheile oder unter Umftänden auch Nachtheile diefer Zwickelfüllungen klar zu ftellen.

Hinfichtlich der Zeit der Ausführung der Kreuzgewölbe aus Backftein, der Vornahme der Ausrüftung derfelben u. f. f. ift auf das in Kap. 9, unter c beim Tonnengewölbe Gefagte wieder zu verweifen.

270.
Kreuzgewölbe
aus
Bruchfteinen.

Bei den Kreuzgewölben des Mittelalters ift Bruchfteinmaterial, felbft wenn daffelbe oft keine fehr lagerhafte Befchaffenheit befafs, in ausgiebiger Weife zur Verwendung gelangt. Bei den Kreuzgewölben der Jetztzeit jedoch ift vermöge des weit verbreiteten Ziegelmaterials die Verwerthung der Bruchfteine als Wölbfteine mehr in den Hintergrund gedrängt. Nur in Gegenden, in welchen zu billigen Preifen dünnfchichtige lagerhafte Bruchfteine oder hinreichend fefte, aber leichte und unfchwer zu bearbeitende Abarten der vulcanifchen Tuffe zu gewinnen find, werden Kreuzgewölbe aus diefem Material hergeftellt. Der Verband im Mauerwerk der Kappen entfpricht im Wefentlichen der Anordnung der aus Backftein ausgeführten Gewölbe.

Bei weniger lagerhaften und weniger regelmäfsig geftalteten Bruchfteinen findet meiftens eine Wölbung auf Kuf Anwendung, während bei fehr lagerhaften, nicht zu

180) Siehe: Deutfche Bauz. 1869, S. 259.

grofsen Bruchfteinen mit vorwiegend regelmäfsiger Form auch eine Mauerung auf Schwalbenfchwanz-Verband vorgenommen werden kann.

Für Kreuzgewölbe aus Bruchfteinen ift in Rückficht auf das leicht erfolgende Setzen (Senken) der Kappen die Annahme einer Stechung von etwa $^1/_{20}$ der gröfsten Gratbogenweite vortheilhaft. Die Ausführung diefer Gewölbe erfolgt ftets auf einer vollen Einrüftung mit Schalung. Auf die Verwendung eines fehr guten Mörtels, welcher die Fugen im Kappenmauerwerk vollftändig füllt, ift befonders zu achten.

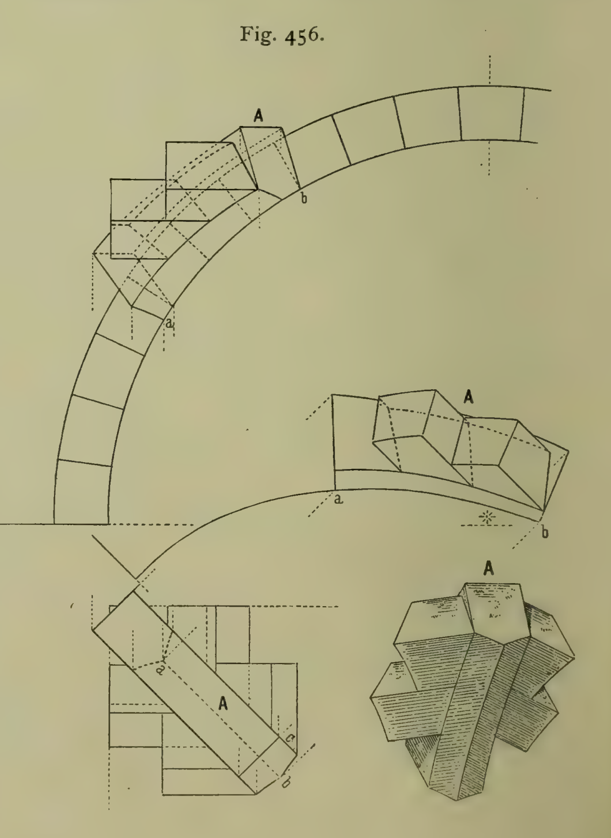
In einigen Gegenden ift es üblich, die Wölbfteine trocken auf der Schalung zu verfetzen und fchliefslich mit flüffigem Mörtelbrei zu vergiefsen. Diefe Einwölbungsart erfordert verhältnifsmäfsig wenig Zeit, wohl aber die gröfste Aufmerkfamkeit einerfeits hinfichtlich der Vermeidung zu dicker Mörtelbänder, andererfeits in Rückficht auf das Herbeiführen einer vollftändigen Ausfüllung der fämmtlichen Fugen und einer innigen Verkittung der einzelnen Steine durch den benutzten Mörtel.

Die Ausführung erfolgt, gleichgiltig, welche Verbandart für das Gewölbe gewählt wird, wie beim Kreuzgewölbe aus Backftein, gleichzeitig und gleichmäfsig fortfchreitend, von allen Gewölbfüfsen an den Ecken des Raumes aus anfangend, bis zum Schlufs des Gewölbes. Für die Ausfüllung der Gewölbzwickel ift Art. 269 (S. 393) zu beachten.

271.
Kreuzgewölbe aus Quadern.

Für cylindrifche Kreuzgewölbe aus Quadern tritt bei den Wölbfteinen eine befondere Bearbeitung nach genau beftimmten Brettungen ein, welche, je nach der Geftalt des Gewölbes, in mehr oder weniger einfacher Weife nach Feftlegen eines zu Grunde gelegten Fugenfchnittes auszutragen find. Um das Mühfame in der Bearbeitung diefer Wölbfteine nicht unnöthig zu fteigern, erhalten Kreuzgewölbe aus Quadern in der Regel keine Stechung; auch behält man in den Kappen meiftens und auch zweckmäfsig den Verband auf Kuf bei. In Folge hiervon nehmen die Kappenfteine die Form der Wölbfteine der einfachen geraden Tonnengewölbe an, fo dafs nur für die eigentlichen Gratfteine ein befonderer Steinfchnitt fich geltend macht. Das unvermittelt eingeführte Zufammentreten der Kappenfteine in einer Fugenfläche, welche der lothrechten Ebene der Gratlinie folgt, wie folches beim Fehlen felbftändiger Gratfteine fich ergeben würde, ift nicht gut, weil die in der Gratebene zufammenftofsenden Wölbfteine ftets an einer Seite eine fcharfe Schneide erhalten, welche bei Werkftücken möglichft vermieden werden foll.

Fig. 456.

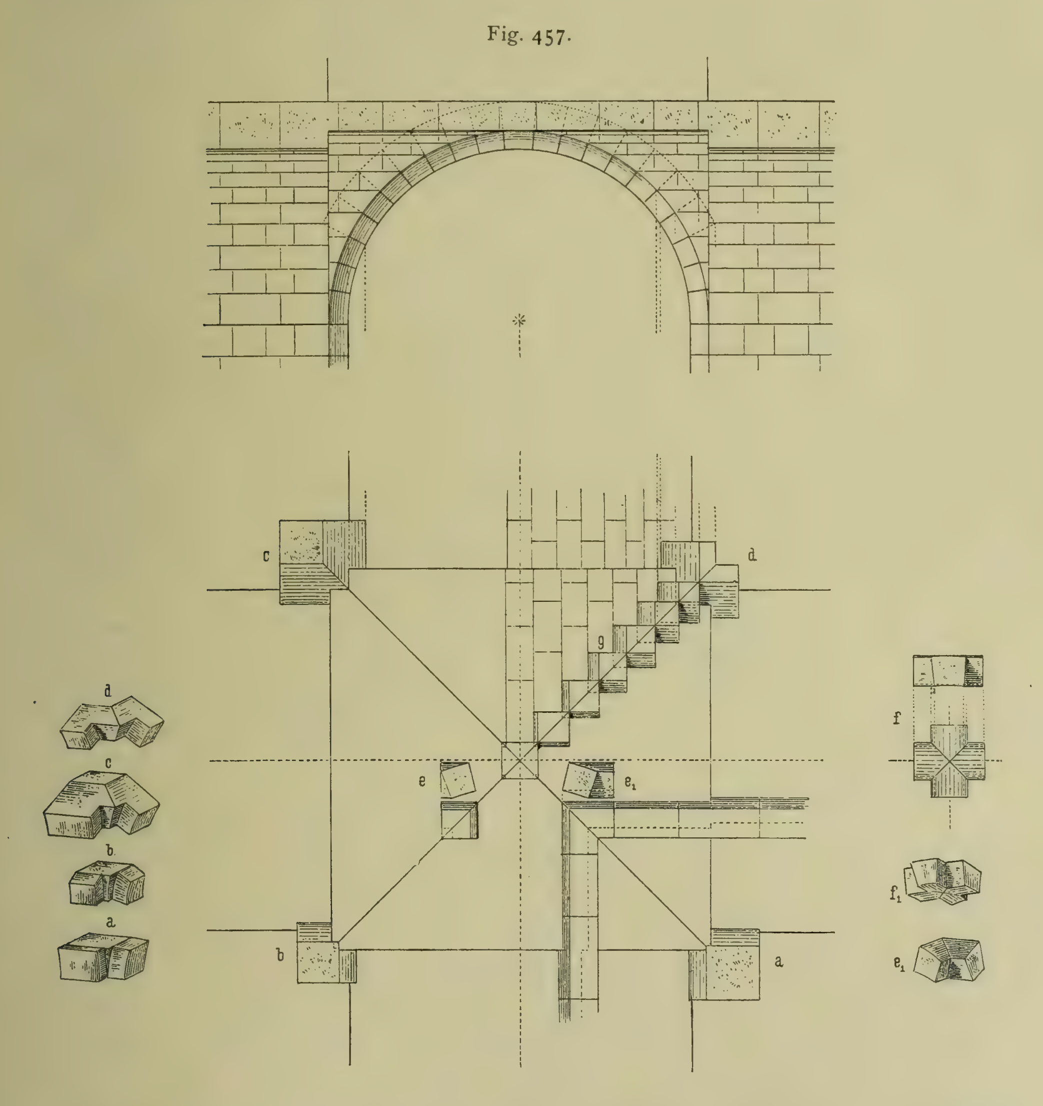


Diefer Mifsftand würde bei den Wölbfteinen auch nicht befeitigt fein, wenn die Grate, wie Fig. 456 angiebt, aus befonderen felbftändigen Werkftücken *A* als für fich beftehende fchmale Tonnengewölbe mit regelrechtem Fugenfchnitte *a, b* u. f. f. ausgeführt würden, da deren lothrechte Seiten nur Schmiegflächen bieten, gegen welche fich die mit den Schneiden bei *c* dennoch behafteten Wölbfteine der Kappen legen.

272. Quadergewölbe über quadratifchen Grundrifs.

Um Wölbfteine zu fchaffen, welche fich mit lothrechten Stofsflächen und mit zur Laibungsfläche der Kappen fenkrecht ftehenden Lagerflächen an die Wölbkörper der Grate fetzen, find die einzelnen Gratfteine diefer Forderung entfprechend im Fugenfchnitt zu behandeln.

Fig. 457.



Eine derartige Anordnung ift in Fig. 457 für ein cylindrifches Kreuzgewölbe über einer quadratifchen Grundfläche gegeben. Die Gratfteine können, wie *g*, bezw. *e* zeigt, frei von befonderen, in die einzelnen Kappen reichenden Anfätzen bleiben oder, wie e_1, bezw. *f* und f_1 erkennen läfft, mit derartigen Anfätzen verfehen werden. In letzterem Falle entftehen fog. Hakenfteine, wobei der Schlufsftein f_1 des ganzen

Gewölbes die Kreuzform mit ihren vier Armen als Haken annimmt. Diefer letztere Fugenfchnitt bedingt einen gröfseren Materialaufwand für die Gratfteine als der erftere, da bei der Bearbeitung der Hakenfteine ein gröfserer Theil der Werkftücke als überflüffig fortgenommen werden mufs.

Die Wölbfteine der Kappen find regelrecht auf Kufverband zu ordnen. Der Fugenlage diefes Verbandes folgend, find fowohl die einfachen Gratfteine *e*, *g* u. f. f., wie auch die Hakenfteine e_1, f_1 u. f. f. auszubilden. Bei der Annahme von Hakenfteinen ift eine über etwa 20 cm gehende Länge der Haken zu vermeiden.

Bei Quadergewölben beftehen die Anfänger zweckmäfsig aus mehreren Schichten *a*, *b*, *c*, welche in den einzelnen Steinen nach den Angaben in Art. 266 (S. 387) nur fchmale, in den höheren Schichten allmählich verbreiterte Lagerflächen für die Wölbfteine, Gratfteine, bezw. Bogenfteine der Rand- oder Gurtbogen erhalten, fonft aber in wagrechten Lagerflächen auf einander gefetzt find. Auf die letzte Schicht *c* legt fich der Stein *d*, welcher Wölbftein, Gratftein und Gurtbogenftein zugleich ift.

Das Austragen der Brettungen (Schablonen) für die einzelnen Steinkörper kann nach Feftlegen ihrer Grund- und Aufrifsprojectionen ohne befondere weitere Hilfsmittel bewirkt werden.

Wie in Art. 246 (S. 361) erörtert, findet durch den Gratkörper der Kreuzgewölbe die Ueberlieferung der Drücke des Gewölbes nach dem Widerlager ftatt. Aus diefem Grunde erfcheint es auch bei Quadergewölben rathfam, hinfichtlich der Anordnung des Fugenfchnittes für die Gratfteine von der Vorfchrift Gebrauch zu machen, die Grate aus einzelnen Steinen fo zufammenzufetzen, dafs diefelben gleichfam als felbftändige fchmale Tonnengewölbkörper mit durch die Gratlinie getrennter Laibungsfläche auftreten. Die Lagerflächen der Gratfteine follen dieferhalb zu der Wölblinie des Grates, alfo zur Gratlinie felbft und deren Ebene fenkrecht ftehen. Aufserdem follen diefe Gratfteine aber auch für die Wölbfteine der Kappen geeignete Lagerflächen und namentlich durchweg lothrechte Stofsflächen als Anfatzflächen bieten.

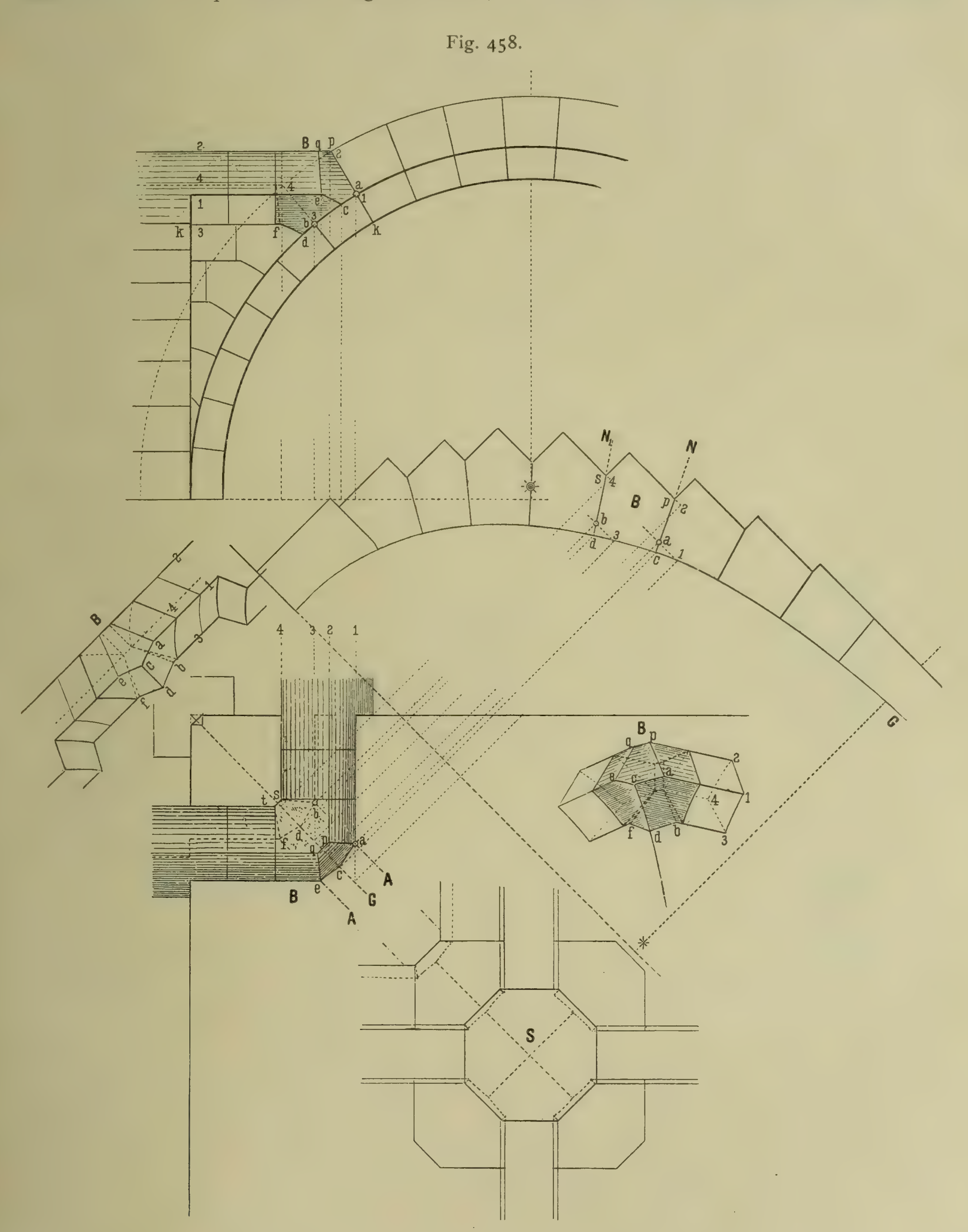
Hierdurch werden Hakenfteine und eben fo etwaige fcharfe Schneiden an den Wölbfteinen, fo weit diefelben an die Seiten der Grate treten, vermieden; die Grate felbft aber werden in geeigneter Weife als Träger des Gewölbes eingeführt. Den geftellten Bedingungen ift der in Fig. 458 gegebene Fugenfchnitt für ein Kreuzgewölbe mit quadratifchem Grundrifs unterzogen worden.

Die Randbogen find Halbkreife. Die Fugentheilung ift für alle Randbogen diefelbe. Das Gewölbe erhält keine Stechung; feine Gratbogen find halbe Ellipfen. Für die Wölbfteine der Grate ift in erfter Linie die Breite $AA = 2\,GA$ als normale Breite der unteren Begrenzung der vorhin bezeichneten Lagerfugenfläche der Gratfteine feft zu fetzen. Wenn gleich diefe Breite beliebig grofs gewählt werden kann, fo ift doch zur Vermeidung des Zufammenfchneidens der noch näher zu beftimmenden, von *a* und *e* ausgehenden Schnittlinien der normalen Lagerflächen am Gratftein mit den Lagerflächen der eigentlichen Kappenfteine die Entfernung AA unter Berückfichtigung der Theilung der Stirnbogen nicht zu gering zu nehmen. Im Allgemeinen wird die Breite $AA = 25$ bis 30 cm genommen.

Um die Projectionen irgend eines Gratfteines, z. B. von *B*, zu beftimmen, hat man zu beachten, dafs die wagrechte Lagerkante *1* eines Kappenfteines mit der Lagerfuge *1 2* die in *A* parallel zur Richtungsebene *G* des Grates gedachte lothrechte Ebene im Punkte *a* trifft. Führt man durch *a* die Normalebene *N* zu der Gratlinie *G*, fo fchneidet diefelbe diefe Gratlinie in *c* und die Laibungsflächen der Kappen nach den Linien *ca*, bezw. *ce*. Diefe Schnittlinien können nach den Angaben in Art. 266 (S. 389) näher

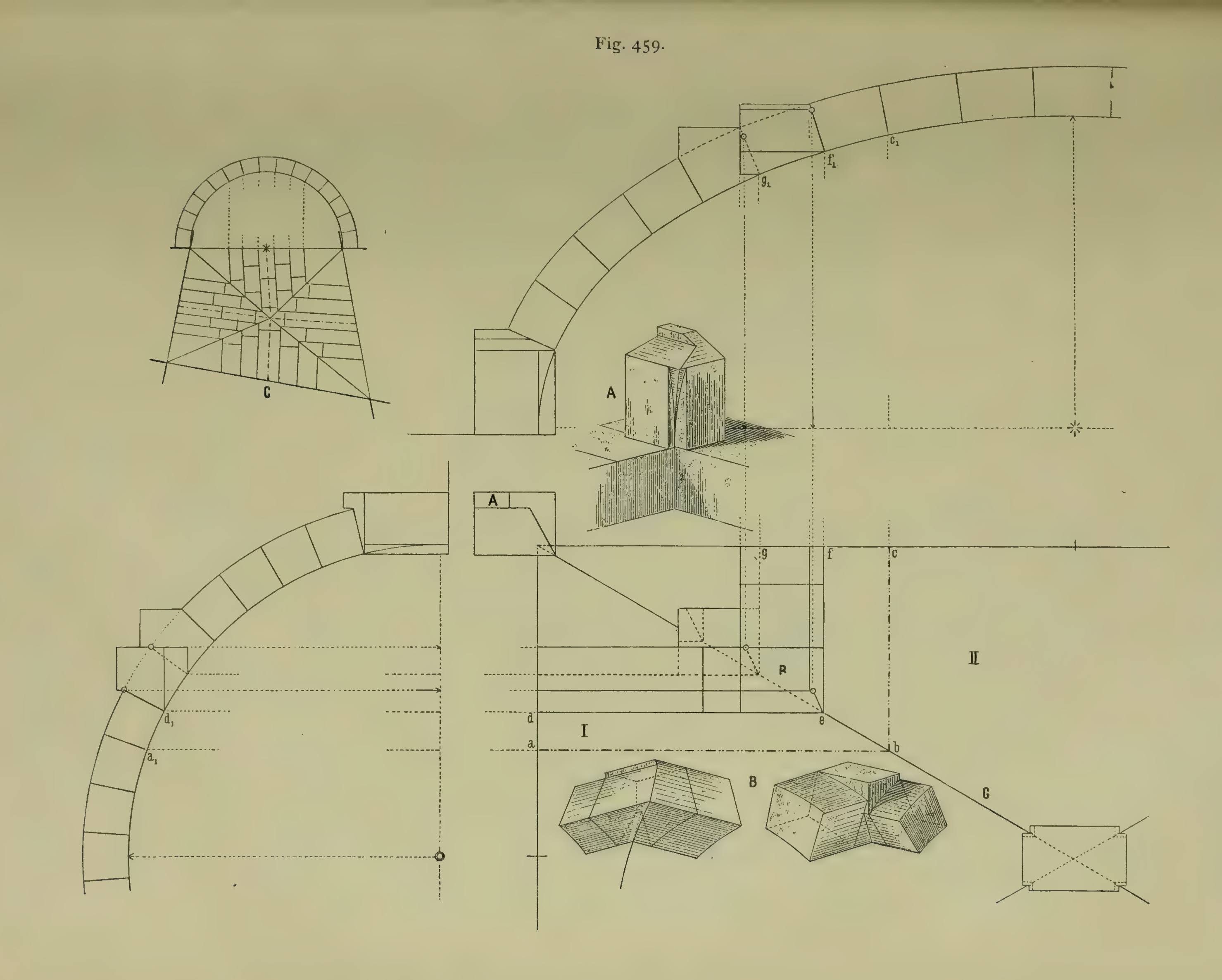
fest gelegt werden. Die wagrechte Erzeugende *2* der Lagerfugenfläche *1 2* trifft die Normalebene N im Punkte p, so dass, wie aus der Zeichnung zu erkennen, ap, bezw. eq die Schnittlinien der normalen Lagerfläche für N mit den Lagerflächen der Kappensteine werden. Begrenzt man den Gratstein B oben durch eine den Punkt p enthaltende wagrechte Ebene, so ist hiermit auch die Rückenfläche dieses Steines

Fig. 458.



bestimmt. Für die zweite normale Lagerfläche $bdfts$ desselben ist die Normalebene N_1 mafsgebend. Dieselbe ist durch den Punkt b zu führen, in welchem die Lagerkante *3* der Lagerfuge *3 4* des betrachteten Kappensteines die vorhin erwähnte Ebene A trifft. Die Bestimmung der Schnittfläche $bdfts$ erfolgt genau in der für die Schnittfläche $aceqp$ angegebenen Weise. Führt man durch die Punkte s,

Fig. 459.



bezw. t lothrechte, parallel zu den Stirnen der am Gratftein B zufammenftofsenden Kappen genommene Ebenen, fo ergeben fich die Stofs- oder Anfatzflächen für die angrenzenden Kappenfteine. Oberhalb der Geraden ts wird der Gratftein lothrecht abgefchnitten. Aus der Zeichnung find die fämmtlichen Projectionen diefes Steines, welche für das Anfertigen feiner Brettungen mafsgebend werden, zu entnehmen. Bei der Anwendung des befchriebenen Fugenfchnittes nehmen fowohl die Gratfteine, deren Projectionen der Reihe nach feft zu legen find, als auch der Schlufsftein im Grundriffe eine polygonale Geftalt an.

273. Quadergewölbe über rechteckigen Grundrifs.

Bei Kreuzgewölben aus Quadern über einem rechteckigen Grundrifs kann nach Fig. 459 der Fugenfchnitt in der folgenden Weife angeordnet werden.

Theilt man den Randbogen der kürzeren Seite, welcher hier als Halbkreis angenommen ift, in eine ungerade Anzahl gleich grofser Wölbfteine ein und legt man, den Theilpunkten a_1, d_1 u. f. f. entfprechend, die wagrechten Projectionen der ihr zugehörigen Lagerkanten ab, de u. f. f. parallel mit der Scheitellinie der kleinen Gewölbkappe I feft, fo kann man die auf der Gratlinie G liegenden Punkte b, e u. f. f. als Ausgangspunkte für die wagrechten Projectionen der Lagerfugenkanten bc, ef u. f. f. der breiteren Kappe II annehmen. Diefe Kanten laufen parallel mit der Scheitellinie diefer Kappe. Da dem Kreuzgewölbe keine Stechung gegeben ift, fo find fämmtliche Lagerfugenkanten gerade Linien. Der Randbogen der Kappe II ift eine halbe Ellipfe. Die Lagerfugenkanten bc, ef u. f. f. haben in der wagrechten Projection einen gröfseren Abftand, als die Lagerkanten ab, de u. f. f. der Kappe I, und in Folge hiervon werden, da die Lagerkanten bc, ef u. f. f. die Theilungen der Wölbfteine am elliptifchen Randbogen der Kappe II bedingen, die Wölbfteine diefer Kappe in ihrer wagrechten Projection breiter, als bei den zugehörigen Wölbfteinen der Kappe I. Aus leicht erfichtlichen Gründen werden aber auch die Bogenlängen $e_1 f_1$, $f_1 g_1$ u. f. f. für die einzelnen Wölbfchichten der Kappe II verfchieden grofs, fo dafs der Randbogen derfelben eine ungerade Anzahl ungleich grofser Theilungen erhält. Bei diefer Anordnung geftaltet fich der Fugenfchnitt für die einzelnen Gratfteine, mögen diefelben hakenförmige Anfätze erhalten oder frei von derfelben bleiben, äufserft einfach. Die Ermittelung der Projectionen eines beliebig gewählten Gratfteines B, welcher noch durch eine perfpectivifche Darftellung in feiner Vorder- und Rückfeite näher verdeutlicht ift, ergiebt fich ohne weitere Ausführungen aus der Zeichnung. Eben fo ift die Durchbildung des Anfängers leicht zu erkennen. In derfelben Weife kann der Fugenfchnitt, wie die Zeichnung in C angiebt, auch für unregelmäfsige Kreuzgewölbe eingeführt werden. Die Lagerfugenkanten find in der wagrechten Projection parallel zu den Scheitellinien der zugehörigen Kappen zu legen, während die Stofsfugenkanten rechtwinkelig zu den Lagerkanten unter Beobachtung eines regelrechten Verbandes der Wölbfteine zu nehmen find.

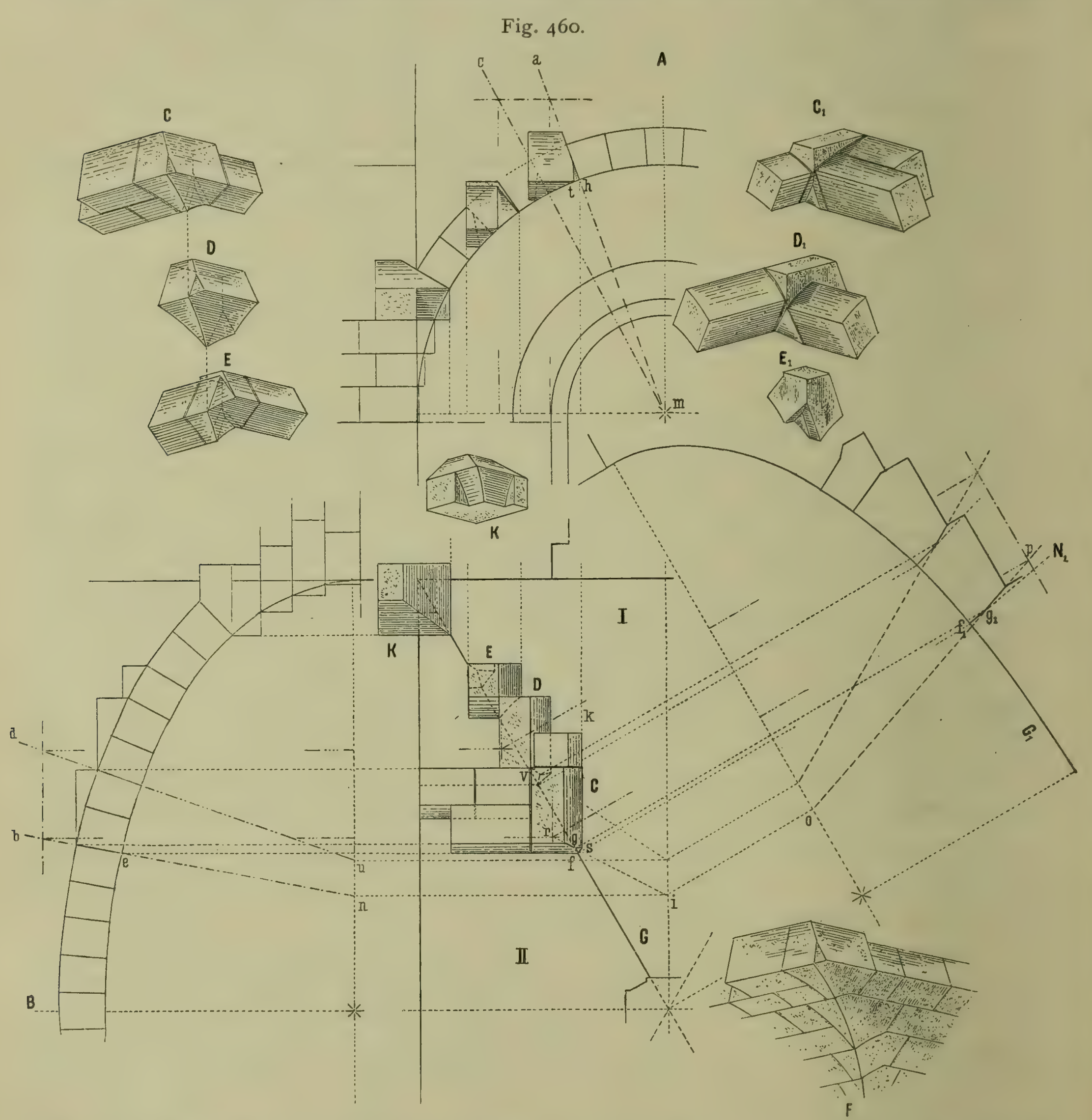
Der befchriebene Fugenfchnitt kann aber z. B. bei fehr lang geftreckten rechteckigen oder fehr unregelmäfsig geftalteten Grundriffen vermöge der ungleichen Breiten der Wölbfteine in einzelnen Kappen ein unfchönes Anfehen der Gewölbebildung im Gefolge haben; auch fordert derfelbe, fo einfach an fich die Bearbeitung der Gratfteine wird, doch immer bei der Herrichtung der Wölbfteine der mit verfchieden grofsen Wölbfchichten behafteten Kappen einen erhöhten Arbeitsaufwand. In folchen Fällen ift diefer Fugenfchnitt zu verlaffen. An feine Stelle tritt alsdann beffer der in Fig. 460 behandelte Steinfchnitt.

Hierbei erhält fowohl der kleinere Randbogen A, als auch der gröfsere Stirnbogen B eine ungerade Anzahl je für fich gleich grofser Theilbreiten und diefen Theilungen entfprechend fo geordnete Gratfteine, dafs, je nach Wunfch, eine oder zwei Wölbfchichten der zufammentretenden Kappen I und II gegen einen Gratftein treten. Die hierzu nöthigen Stofsflächen gehören rechtwinkelig zu den Lagerkanten geftellten Ebenen an. Sollten die Gratfteine hakenförmig gebildet werden, fo wird hierdurch am Fugenfchnitt keine wefentliche Abänderung gefchaffen. Bei einem Gratfteine C ift die Lagerfugenkante der fenkrecht zum Randbogen B ftehenden Lagerebene nb, im Zufammenhange mit dem Punkte e in ihrer wagrechten Projection bis zum Punkte f auf der Grundrifsprojection G des Gratbogens fortgeführt. Diefer Lagerkante liegt die Lagerfugenkante k, welcher einer Lagerfugenebene ma, alfo dem Punkte h der Kappe II angehört, am nächften.

Die Ebenen ab und ma liefern eine gerade Schnittlinie, deren wagrechte Projection als ir, wie aus der Zeichnung zu erfehen ift, beftimmt wird. Die Lagerfugenkanten, welche den Punkten e und h angehören, haben aber im Allgemeinen eine von einander verfchiedene Höhenlage über der Kämpferebene des Gewölbes, fo dafs die Gerade ir nicht durch den Punkt f geht. Am Gratftein C liegt die durch f gehende Lagerkante der Kappe II tiefer, als die Lagerkante k der Kappe I. Führt man nun durch den

tieſer gelegenen Punkt f am Gratbogen eine Normalebene, welche in der Hilfsprojection G_1 als $f_1 N_1$ entſpringt, ſo ſchneidet dieſelbe von den beiden über k und f liegenden Lagerflächen ein mehr oder weniger groſses, ſenkrecht zum Gratbogen ſtehendes Flächenſtück ab. Die Projectionen dieſes Stückes laſſen ſich unter Beachtung der Projection op, welche der Schnittlinie ir entſpricht, im Hinblick auf die Zeichnung leicht ermitteln, ſobald nur noch nach dem in Art. 266 (S. 389) Vorgeführten die Projectionen fs und th der Schnittlinie, welche die Normalebene $f_1 N_1$ auf der Kappe I hervorruft, berückſichtigt werden. In derſelben Weiſe ergiebt ſich auch die Grundriſsprojection der Normalſchnittfläche v am Gratſteine C, wofür die nöthigen zeichneriſchen Durchführungen noch näher in Fig. 460 mit angegeben

Fig. 460.



ſind. Auf gleichem Wege ſind auch die Projectionen der Gratſteine D und E erhalten. Im Bilde ſind dieſe Steine in Vereinigung mit den anſtoſsenden Gewölbſteinen der Kappen ſowohl von der Vorderſeite, wie in C, D, E, als auch von der Rückſeite, wie in C_1, D_1, E_1, noch beſonders gegeben. Die Darſtellung F zeigt das Zuſammenfügen der Gratſteine mit den Kappenſteinen, während K dem oberen Stücke des Gewölbanfängers angehört, welcher unterhalb K hier aus wagrecht über einander liegenden Schichten ausgeführt iſt.

Das Verſetzen der Quader bei Kreuzgewölben, das Einführen des Mörtels u. ſ. w. folgt dem in Art. 170 (S. 246) Geſagten.

b) Gothifche Kreuzgewölbe.

274. Wefen.

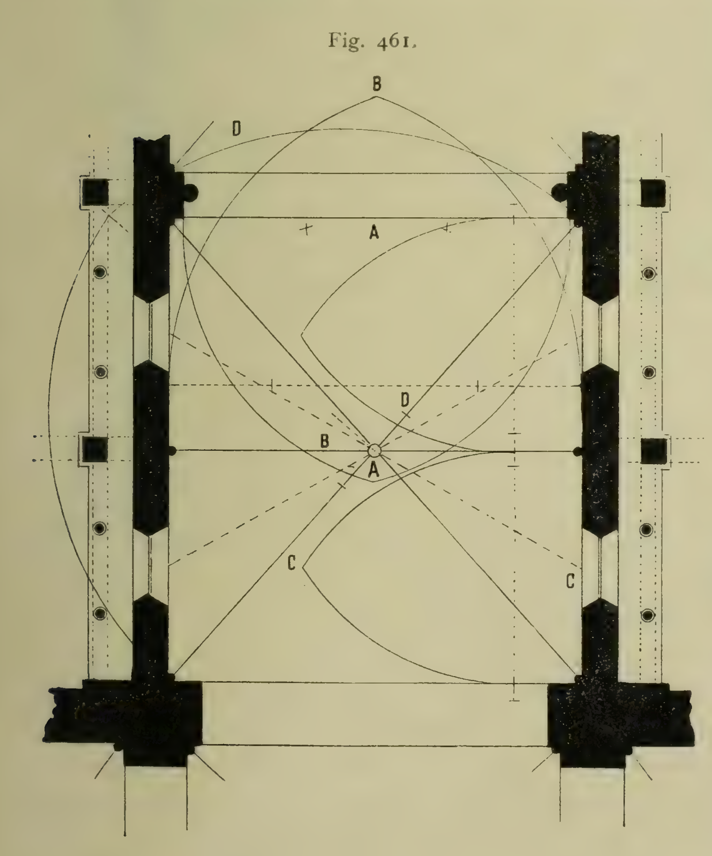
Das Wefen der gothifchen Kreuzgewölbe, wodurch fich diefelben von allen anderen Gewölben unterfcheiden, ift hinfichtlich ihrer Geftaltung in Art. 237 (S. 348) durch einige allgemeine Grundzüge gekennzeichnet, welche ihre Ableitung in der Betrachtung der weiteren Entwickelung des romanifchen Kreuzgewölbes gefunden haben.

Die befondere Bildung diefer in der Baukunft eine hervorragende Stellung einnehmenden Gewölbe hat aber noch mannigfache und wichtige Punkte zu berückfichtigen, welche die kunftvolle Technik in der Anlage und Ausführung diefer Gewölbkörper an fich und in ihrem Zufammenhange mit den zugehörigen Widerlagstheilen näher berühren.

Die Kreuzgewölbe der Blüthezeit der Gothik bekunden ein befonders in den Vordergrund tretendes Beftreben, welches darauf gerichtet war, die Wölb- und Widerlagsmaffen fo zu gliedern und unter Befeitigung von ängftlichen Theilungen beim Zerlegen gröfserer zu überwölbender Räume fo zu geftalten, dafs unter dem Aufwande aller Sorgfalt beim Schaffen der mit ficherer Standfähigkeit behafteten Bauwerke kein Theil derfelben einen verletzenden Ueberflufs an Material zeigen follte. Conftructionsfyftem und Form find in eine innige, fich gegenfeitig bedingende Verbindung gebracht, gerecht und wohl geordnet.

Als ein wefentliches Hilfsmittel zur Erzielung diefer Verbindung ift die Verwendung des Spitzbogens anzufehen. Wefentlicher aber noch ift bei den gothifchen Gewölben die Theilung des Gewölbefeldes durch felbftändige Gurt-, Grat- oder Rippenkörper. Diefe bilden in ihrer gefammten Anordnung ein eigentliches Tragfyftem; fie nehmen zwifchen fich die befonders gewölbten Kappenftücke auf und übertragen die Gefammtlaft der Deckenbildung auf einzelne beftimmte Stützpunkte. Diefe Punkte bedingen die weitere Ausbildung der Widerlagskörper, welche im Allgemeinen als Freiftützen geftaltet werden können. Sie befonders ftandfähig herzurichten, ohne dabei an Material zu verfchwenden, ift eine vorwiegende Bedingung. An den hauptfächlichften Stützpunkten angelegte Strebepfeiler oder mit Strebepfeilern ver-

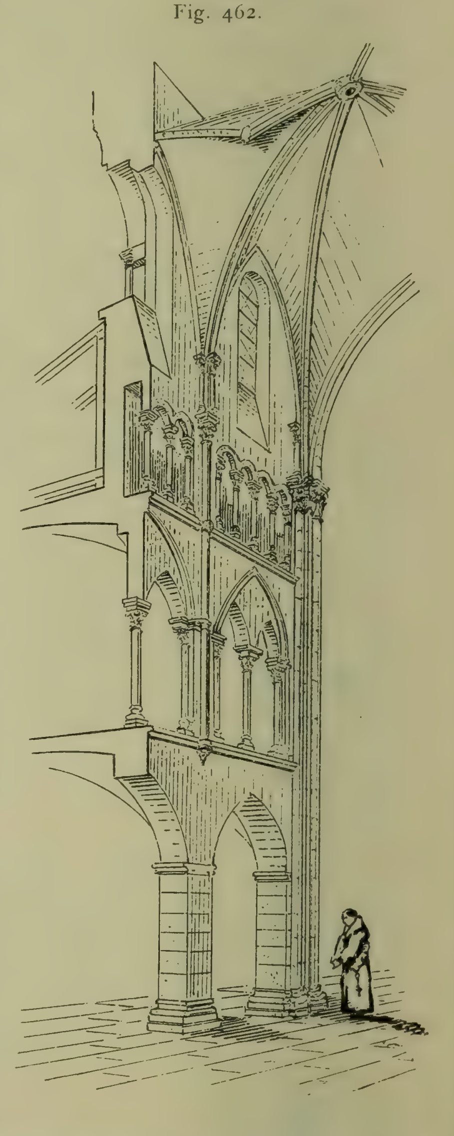
Fig. 461.



bundene, frei auffteigende Strebebogen entfprechen jener Bedingung. So entfteht ein vollftändig gegliedertes Gewölb- und Stützenfyftem, welches, an und für fich und unabhängig von dem zwifchen den Stützen einzufügenden Mauerwerke der Umfangs- oder Scheidemauern des zu überdeckendem Raumes, den eigentlichen Kern des ganzen Bauwerkes bildet.

Im Gefolge hiervon fteht die freie Auflöfung der Maffen. Die Umfangsmauern, wenig oder gar nicht vom Gewölbfchube berührt, bedürfen keiner erheblichen Stärke; fie können in ausgiebigfter Weife durchbrochen oder, mit Oeffnungen verfehen, fich dem gefammten Organismus des Bauwerkes einfügen. Immer behält die Conftruction des Gewölb- und Stützenfyftemes die Herrfchaft. Bei dem gewiffenhaften Abwägen der Maffen, möglichft entfprechend den in ihnen wachgerufenen Kräften, ift in Abhängigkeit von der Conftruction die Form des Bauwerkes abzuleiten, zu gliedern und kunftgerecht zu bilden.

Fig. 462.



Ift auch bei den fechstheiligen Kreuzgewölben (vergl. Art. 236, S. 346) aus der Mitte des XII. Jahrhundertes eine Theilung des Gewölbefeldes durch Kreuzrippen mit durchlaufender Mittelrippe mehrfach, in Deutfchland namentlich im rheinifchen Uebergangsftil, vorgenommen; ift auch, wie z. B. beim Hauptgewölbe des Domes zu Limburg an der Lahn (Fig. 461 u. 462), aus dem Anfange des XIII. Jahrhundertes, diefe Theilung unter Verwendung von Spitzbogen, ja felbft unter Einführung der feitlichen Abfteifung durch Strebebogen zum Ausdruck gelangt — fo ift diefes Wölbfyftem im Allgemeinen doch wieder verlaffen und für die Conftruction der gothifchen Gewölbe nicht durchfchlagend geworden.

Die Schmiegfamkeit der Spitzbogenform, welche einen zweckmäfsigen, leicht zu fchaffenden Zufammenhang der Höhenverhältniffe der danach geftalteten einzelnen Gurt-, Grat- oder Diagonalbogen unter einander ermöglichte, gleichgiltig, ob das Gewölbe über quadratifchen, rechteckigen oder mehr oder weniger unregelmäfsig geordneten Grundriffen ausgeführt werden follte, war dazu angethan, die fchwieriger in Einklang zu bringenden Halbkreisbogen, befonders in ihrer Anwendung als Rand- oder Stirnbogen, zu verdrängen. Unter Hinweis auf das in Art. 237 (S. 348) Gefagte möge nochmals betont werden, dafs in der Herrichtung der felbftändig nach der ftatifch günftigen Spitzbogenlinie gebildeten Rippenkörper und in der mit Bufung dazwifchen eingewölbten Kappenftücke, welche dem Theile eines Kugelgewölbes entfprechen oder demfelben ähnlich find, befondere Merkmale der gothifchen Gewölbe auftreten. Die

Rippenkörper gehören fchmalen Streifen eines cylindrifchen Gewölbes, bezw. eines Tonnengewölbes an, während die Kappenftücke im Allgemeinen fphärifchen, bezw. fphäroidifchen Gewölben zuzuweifen find.

Im Folgenden follen die Geftaltungen der gothifchen Kreuzgewölbe eingehender befprochen werden.

1) Einfache gothifche Kreuzgewölbe.

275. Bezeichnungen.

Für die Geftaltung und Darftellung eines einfachen gothifchen Kreuzgewölbes möge zunächft ein folches über einem quadratifchen und einem rechteckigen Grundriffe, unter Angabe der Bezeichnungen feiner Beftandtheile, Berückfichtigung finden. Die Grundrifsfigur bildet das Gewölbefeld oder das Gewölbejoch. Die Diagonalen des Gewölbefeldes find die wagrechten Projectionen der Diagonal- oder Kreuzbogen. Ueber den Seitenlinien des Gewölbefeldes erheben fich die Rand- oder Stirnbogen. Treten mehrere Gewölbefelder im Grundriffe zufammen, fo werden die Randbogen, welche die einzelnen Joche von einander fcheiden, auch Gurtbogen oder Scheidebogen genannt. Sind die Randbogen unterhalb ihrer Laibung durch volles Mauerwerk oder durch Mauerwerk mit befonders darin angelegten Oeffnungen gefchloffen, fo führen fie den Namen Schildbogen.

Erhalten die erwähnten Bogen eine vor der eigentlichen Gewölbfläche ausladende, einfach oder reich gegliederte Anordnung, fo heifsen fie allgemein Rippen. Man unterfcheidet nach der Stellung derfelben Kreuzrippen, Gurtrippen und Schildbogenrippen. Spannweite, Pfeilhöhe, Pfeilverhältnifs, Scheitel, Schlufsftein entfprechen auch hier den früher in Art. 122 (S. 142) gegebenen Erklärungen. Die zwifchen dem als Skelett des ganzen Gewölbekörpers auftretenden Rippenfyfteme eingefügten Gewölbeftücke heifsen Gewölbekappen oder kurz Kappen. Sie finden ihr Widerlager an den Rippenkörpern. Das Pfeilverhältnifs der Wölblinie einer Kappenfchicht kennzeichnet das Mafs der Bufung oder des Bufens der Kappe.

276. Darftellung.

Von Wichtigkeit für die Darftellung des einfachen gothifchen Kreuzgewölbes ift die Ausmittelung der bezeichneten Bogen hinfichtlich der Höhenlage ihrer Scheitelpunkte zu einander in Bezug auf eine gemeinfchaftliche Kämpferebene.

Hierbei find vorzugsweife drei Fälle zu unterfcheiden:

α) die Scheitel der Rand- und Kreuzbogen liegen fämmtlich in gleicher Höhe;

β) die Scheitel der Randbogen liegen tiefer, als der Scheitel der Kreuzbogen, und

γ) der Scheitel der Kreuzbogen liegt tiefer, als der Scheitel der Randbogen. Hierbei können im Befonderen auch die Scheitel der Randbogen noch in verfchiedener Höhe liegen.

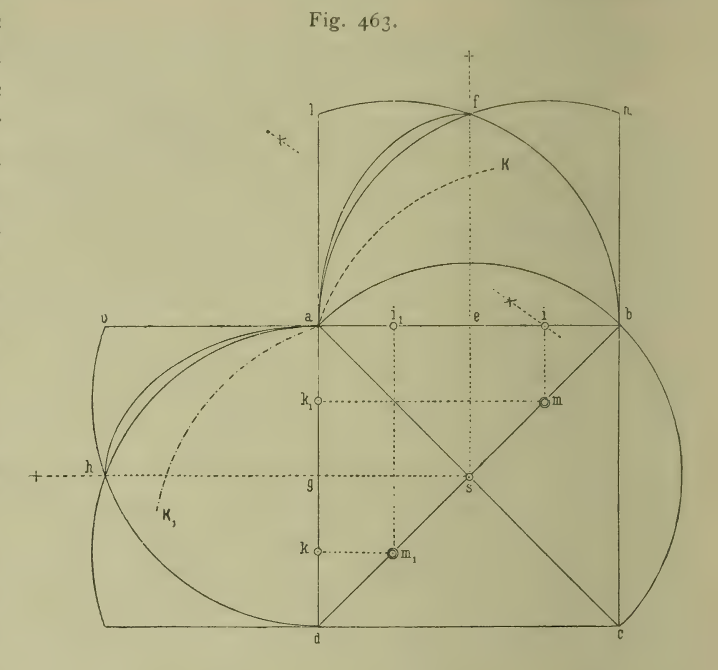
α) Die Scheitel der Rand- und Kreuzbogen gleich hoch gelegen.

Als Ausgang für die Beftimmung der Form der Randbogen dient der Kreuz- oder Diagonalbogen. Derfelbe bedingt in erfter Linie die allgemeine Höhenlage des Scheitelpunktes des zu bildenden Kreuzgewölbes. Seine Bogenlinie ift ein Halbkreis oder ein Spitzbogen. Letzterer wird häufig und zweckmäfsig als ein nur mäfsig vom Halbkreis abweichender ftumpfer Spitzbogen behandelt, deffen Pfeilhöhe demnach wenig mehr beträgt, als feine halbe Spannweite. Bei hoch anftrebenden Kreuzgewölben tritt ftatt diefes ftumpfen Spitzbogens der mehr oder weniger fteil geformte Spitzbogen als Kreuzbogen auf.

277.
Quadratifcher Grundrifs.

Ift in Fig. 463 das Quadrat *abcd* der Grundrifs des Gewölbefeldes und wird ein Diagonalbogen über *ac*, bezw. *bd* als Halbkreis mit dem Halbmeffer *sa* gewählt, fo ift hierdurch die Scheitelhöhe des Kreuzgewölbes über der wagrechten Kämpferebene gleichfalls in *sa* gegeben. Die ihr gleichen Höhen *ef*, bezw. *gh* follen für die als Spitzbogen zu conftruirenden Randbogen *afb*, bezw. *ahd* beibehalten werden. Die Mittelpunkte der einzelnen Schenkel der Randbogen ergeben fich in bekannter Weife in i, i_1, bezw. k, k_1. Bemerkt fei, dafs bei diefer Darftellung der Kreuz- und Randbogen die Halbmeffer $ai = bi_1 = ak = dk_1$ nach einer einfachen geometrifchen Beziehung gleich $^3/_4$ der Seitenlänge *ab* des quadratifchen Grundriffes find. Die entftehende Bogenform ift nicht ungünftig. (Vergl. Art. 128, S. 155.)

Fig. 463.



Die zwifchen den Schenkeln der Randbogen und den halben Diagonalbogen liegenden Kappen können ohne Weiteres reine Kugelflächen als Laibung erhalten.

Auf Grund der in Art. 237 (S. 349) gegebenen Entwickelungen ift *m* als Schnitt des Lothes *im* auf *ab* und des Lothes *sm* auf *ac* der Mittelpunkt der Kugelfläche des Kappentheiles *aes* und der um *m* mit dem Halbmeffer *ma* befchriebene Kreis *K* ein gröfster Kreis diefer Fläche. Eben fo ift m_1 als Mittelpunkt der Kugelfläche des Kappentheiles *ags* mit dem gröfsten Kreife K_1 zu beftimmen. Die nach *gs*, bezw. *es* genommenen lothrechten Kugelfchnitte liefern fofort die als Kreisbogen vorhandenen Scheitellinien *lf*, bezw. *oh*, deren Mittelpunkte in i_1, bezw. k_1 bereits beim Feftlegen der Randbogen erhalten wurden.

Bei diefer Ausmittelung der Beftandtheile des hier behandelten Kreuzgewölbes zeigt fich ein inniger geometrifcher Zufammenhang derfelben unter einander. In conftructiver Beziehung tritt eine Vereinigung der nach Art fchmaler Tonnengewölbe herzurichtenden Kreuz- und Stirnrippen mit Kugelgewölbftücken der Kappen auf, wodurch zugleich die Bufung der Kappenfchichten feft gelegt ift.

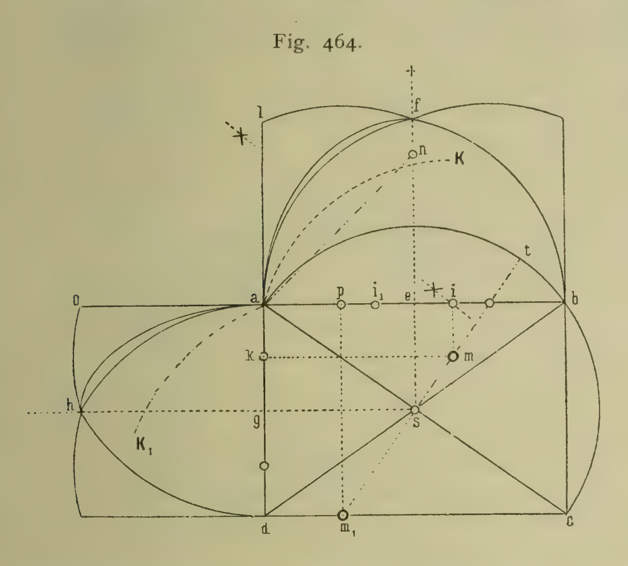
Soll bei der Aufrechterhaltung der Form der Rippen für die Wölbung der Kappen eine von der Kugelfläche abweichende Bufung angenommen werden, fo dafs die Wölbfläche nach einem anderen, mit gewiffer Freiheit aufzuftellenden Gefetze zu einer fphäroidifchen Fläche auszubilden ift; oder foll unter Umftänden bei der Einführung einer geraden Scheitellinie für die Kappen gar keine Bufung fich geltend machen — fo entftehen hierdurch keine nennenswerthen Schwierigkeiten. Hiervon wird bei der Ausführung der Kappenmauerung gothifcher Gewölbe noch näher die Rede fein. Immerhin erfcheint aber die befprochene einfache Geftaltung der Kappenftücke nach Kugelflächen, welche in unmittelbarem und innigem Zufammenhange mit der Form des Gewölbgerippes ftehen, als folgerichtig, auch in Rückficht auf ihre Stabilitätsunterfuchung und Ausführung als zweckmäfsig.

Würde für den Kreuzbogen ftatt des Halbkreifes ein mehr oder weniger hoher Spitzbogen gewählt und alsdann feine Pfeilhöhe für die Scheitelhöhe der Randbogen zu Grunde gelegt, fo erleiden die mafsgebenden Entwickelungen hinfichtlich der Feftftellung der Form diefer Randbogen und der Kugelflächen der Kappen keine Aenderung.

278. Rechteckiger Grundrifs.

Bei dem Gewölbefelde mit rechteckigem Grundrifs *abcd* (Fig. 464) fei der Diagonalbogen über *ac*, bezw. *bd* wiederum ein Halbkreis mit dem Halbmeffer *sa*. Hierdurch ift die Scheitelhöhe $st = sa$ beftimmt und danach die Höhe der Randbogen $ef = gh = st$ genommen.

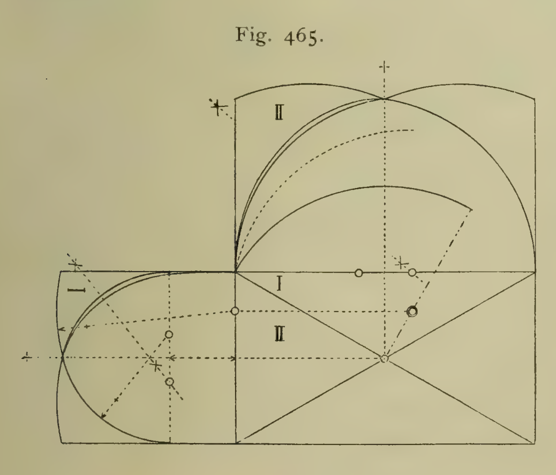
Fig. 464.



Die Mittelpunkte des Randbogens *afb* der langen Seite des Rechteckes werden in *i*, bezw. i_1 gefunden; die Mittelpunkte für den Randbogen *ahd* liegen in den Endpunkten *a*, bezw. *d* der kleinen Seite des Rechteckes. Diefer Randbogen umfchliefst alfo ein gleichfeitiges Dreieck.

Bei einem rechteckigen Grundrifs tritt diefe Lage der Mittelpunkte des Randbogens der kleinen Seite bei gleicher Höhenlage der Scheitel von Rand- und Kreuzbogen ftets ein, fobald letzterer ein Halbkreis ift und fobald zugleich die Länge der kleinen Seite *ad* des Rechteckes gleich der Hypothenufe *an* eines rechtwinkeligen und gleichfchenkligen Dreieckes genommen wird, deffen Katheten *ea* und *en* gleich der halben grofsen Rechteckfeite *ab* find. Bei diefen Abmeffungen wird der Randbogen der grofsen Seite ein ziemlich ftumpfer, aber fonft nicht ungünftig geformter Spitzbogen, während der Randbogen der kleinen Seite verhältnifsmäfsig fchlank gebildet erfcheint. Würde die Seite *ad* kleiner als *an* werden, fo würden die Mittelpunkte des zugehörigen Randbogens unter der Annahme der gleichen Scheitelhöhen für fämmtliche Hauptbogen des Kreuzgewölbes nunmehr über *a* und *d* hinausfallen und fomit einen fehr fteil auffteigenden Spitzbogen bedingen. Das hier angegebene Verhältnifs der Seitenlängen des Gewölbefeldes kann als ein Grenzmafs in fo fern angefehen werden, als bei fehr fchmalen, rechteckigen Gewölbefeldern zur Vermeidung eines fehr fteilen Spitzbogens der kleinen Rechteckfeite oft vortheilhafter ein ftumpferer Randbogen, wie in Fig. 465 gewählt werden müffte, welcher zur Erzielung der vorgefchriebenen gleichen Höhenlage feines Scheitels mit den Scheitelpunkten des Kreuzbogens und des Randbogens der langen

Fig. 465.



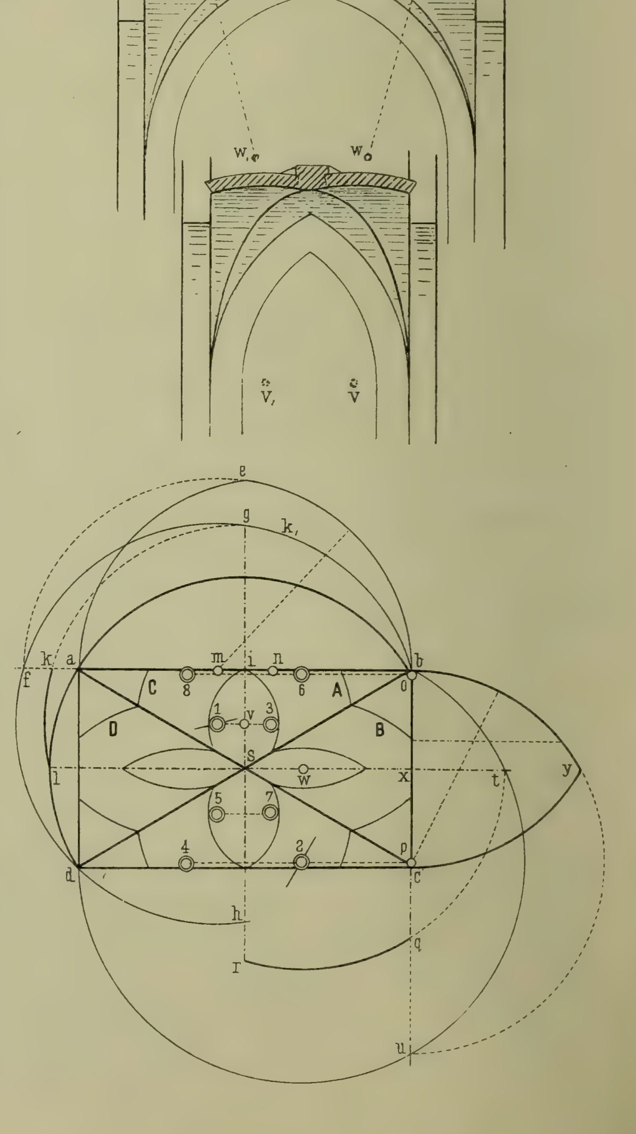
Rechteckfeite eine Stelzung zu erfahren hätte. Alsdann erhielten die Kappen *II* der fchmalen Seiten bei der Beobachtung einer Bufung fphäroidifche Laibungsflächen, während bei dem in Fig. 464 angenommenen Verhältniffe der Breite zur Länge des Gewölbefeldes fich für diefe Kappen eben fo wohl, als auch für die Kappen der langen Seite die Laibungen als Kugelflächen geftalten laffen. Ohne weitere Bedingungen zu ftellen, ergeben fich die Mittelpunkte diefer Kugelflächen in m für die Kappe ase mit dem gröfsten Kreife K und in m_1 für die Kappe asg mit dem gröfsten Kreife K_1; auch find hiernach in hinlänglich gekennzeichneter Weife die Scheitellinien über se und sg als die um k, bezw. p befchriebenen Kreisbogen ho, bezw. fl zu beftimmen.

β) Die Scheitel der Randbogen tiefer, als die Scheitel der Kreuzbogen gelegen.

279.
Rechteckiger Grundrifs: gleiche Halbmeffer.

Für das Austragen der Randbogen gelten nach Annahme der Form der Kreuzbogen diefelben Grundlagen, fowohl für quadratifche, als auch für rechteckige Gewölbefelder.

Fig. 466.



Um zwifchen den Diagonal- und Randbogen einen einfachen Zufammenhang zu erhalten, find bei vielen Kreuzgewölben des gothifchen Bauftils die fämmtlichen Bogen der Rippen mit gleichem Halbmeffer gefchlagen. Die hierdurch bedingten Gewölbanordnungen follen für ein rechteckiges Gewölbefeld $abcd$ nach Fig. 466 getroffen werden.

Die kleine Seite bc des Rechteckes fei noch etwas gröfser, als die Hälfte bs einer Diagonale bd. Der Diagonalbogen fei der Halbkreis dab, fo dafs $sb = sd$ der für die Geftaltung der Randbogen beftimmende Halbmeffer wird. Trägt man $bm = an = sb$ auf der langen Seite ab von den Ecken b und a aus ab, fo find m und n die Mittelpunkte des zugehörigen Randbogens bea. Beftimmt man in gleicher Weife die Punkte p und o auf der kleinen Seite bc durch $bp = co = sb$, fo find diefe Punkte Mittelpunkte des kleinen Randbogens byc. Beide Randbogen werden Spitzbogen mit den

Höhen *ie*, bezw. *xy* über der Kämpferebene. Diefe Höhen find unter fich verfchieden und ftets kleiner als die Scheitelhöhe des Kreuzbogens.

Giebt man den Kappen reine Kugelflächen zur Laibung, welche unmittelbar von den feft gelegten Kreuz- und Randbogen in Abhängigkeit gefetzt werden, fo ift der Punkt *1* als Schnitt der nicht weiter gezeichneten Lothe in *s* auf *bs* und in *m* auf *ab* der Mittelpunkt der Kugelfläche für das Kappenftück über *isb*. Der gröfste Kreis derfelben enthält in der Kämpferebene die Punkte *b*, *g*, *f*, *d*, *h*. Eben fo ift der Punkt *2* als Schnitt von Lothen in *s* auf *bs* und in *p* auf *bd* als Mittelpunkt der Kugelfläche für den Kappentheil über *ksb* zu ermitteln. Der gröfste Kreis diefer Fläche befitzt in der Kämpferebene die Punkte *b*, *t*, *u*, *d*. In entfprechender Weife wird *3* als Mittelpunkt der Kugelfläche für das Stück *isa*, *4* als Mittelpunkt der Kugelfläche für das Stück *lsa* gefunden, fo dafs hiernach auch leicht die Punkte *5*, *6*, *7* und *8* als Mittelpunkte der übrigen Kugelflächen anzugeben find. Weiter ergiebt fich unter Benutzung der Mittelpunkte der einzelnen Kugelflächen in *v* der Mittelpunkt für den Kreisbogen *kl* der Scheitellinie über *is* mit dem Halbmeffer *vg*, fo wie in *w* der Mittelpunkt des Kreisbogens *qr* der Scheitellinie über *xs* mit dem Halbmeffer *wt*. Nach diefen Ausmittelungen find Längen- und Querfchnitt des Gewölbkörpers leicht darzuftellen.

Führt man durch das Gewölbe wagrechte Schnitte, fo entftehen auf den Laibungsflächen der Kappen Kreisbogen als Schnittlinien, deren wagrechte Projectionen wie in *A* aus *1*, in *B* aus *2*, in *C* aus *3*, in *D* aus *4* u. f. f. zu befchreiben find. Diefe Schnittlinien kennzeichnen die vorfpringende Eckbildung der Kappen am Diagonalbogen.

Wird die kleine Seite des rechteckigen Gewölbefeldes gleich der Länge *bs*, fo wird der Randbogen ein Spitzbogen, deffen Mittelpunkte mit den Eckpunkten *b* und *d* zufammenfallen. Ift die Länge der kleinen Seite geringer als die Länge der halben Diagonale *bd*, fo treffen die Mittelpunkte des Randbogens in der Verlängerung von *bc* über die Eckpunkte *b* und *c* hinaus.

In Folge hiervon entfteht ein fteiler, lanzettförmiger Spitzbogen für die Seite *bc*. In Rückficht auf den weniger fchlanken Spitzbogen der langen Seite und unter Beachtung der Form des Abfchlufsbogens einer Oeffnung, welche in einer etwa anzulegenden Stirnmauer *bc* angebracht werden follte, kann aber ein derart fteil auffteigender Randbogen nicht immer als günftig erfcheinen. Bei der Anwendung gleicher Halbmeffer für Kreuz- und Randbogen bei quadratifchem Gewölbefelde tritt die Verfchiedenheit der Randbogen nicht ein. Diefelben haben wohl eine tiefere Scheitellage, als der Kreuzbogen, aber fonft unter fich gleiche Scheitelhöhen. Letzteres ift bei einem rechteckigen Gewölbefelde nicht der Fall. Der Randbogen der kleinen Seite erhält dabei ftets eine geringere Höhe, als der Randbogen der grofsen Seite.

Das eigentliche Wefen der Geftaltung der Randbogen erleidet keine Aenderung, wenn für den Kreuzbogen an die Stelle eines Halbkreifes ein Spitzbogen tritt, deffen Halbmeffer für die Bildung der Randbogen als gegebene Gröfse benutzt wird.

Die Annahme gleicher Halbmeffer für die Bogenform des Rippenfyftemes bietet den Vortheil eines gleichartig gebildeten Auslaufes der Bogenanfätze von ihrem gemeinfchaftlichen Stützpunkte an den Ecken des Gewölbefeldes. Die Ausführung der Gewölbanfänge wird hierbei erleichtert; auch wird bei profilirten Rippenkörpern ein regelmäfsiges Loslöfen der einzelnen Gliederungen am Anfänger ermöglicht. Die unmittelbare Abhängigkeit der Scheitelhöhen der einzelnen Bogen von dem einmal feft gefetzten Halbmeffer kann jedoch ab und an für eine befonders geplante Gewölbanordnung ftörend wirken. So kann die Forderung geftellt werden, den Randbogen des rechteckigen Gewölbefeldes gleiche Scheitelhöhen zu geben und dennoch die Anfätze der Kreuz- und Randbogen mit gleichem Halbmeffer zu fchlagen. Um diefer Bedingung zu genügen, kann nach Fig. 468 beim Innehalten des beftimmten Halbmeffers *ac* der Randbogen *A* der grofsen Seite durch einen Randbogen *B* erfetzt werden, deffen Mittelpunkt *b* auf der gehörig verlängerten Geraden *ca* fo tief unter der Kämpferlinie angenommen wird, bis die gewünfchte Scheitelhöhe des Randbogens *B*, entfprechend der Scheitelhöhe des Randbogens der kleinen Seite, über der Kämpferebene erzielt ift. Hierdurch entfteht der fchon in Art. 128 (S. 157) erwähnte gedrückte Spitzbogen. Ift die Verfchiebung *ab* der Mittelpunkte für *A* und *B* nicht erheblich, fo ift ein derart geformter Spitzbogen, obgleich durch feine

Verbindung mit dem anſtoſsenden Kreuzbogen und dem Randbogen der kleinen Rechteckſeite nicht vollſtändig regelmäſsig zu bildende Gewölbanfänger entſtehen, ſehr wohl zu benutzen.

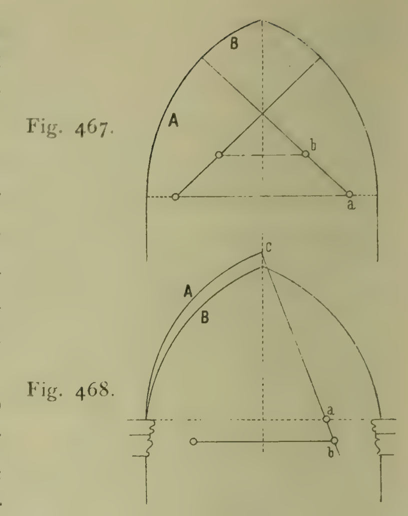


Fig. 467.

Fig. 468.

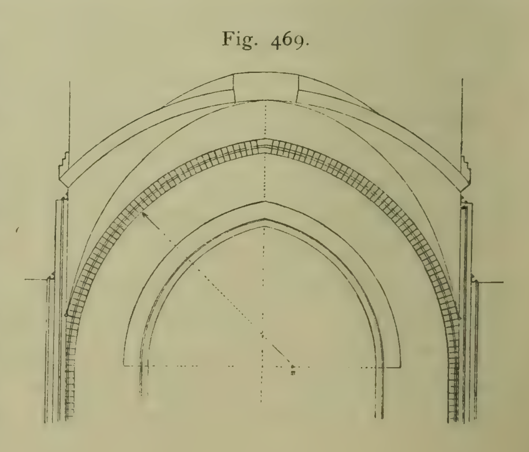
Bei dieſem gedrückten Spitzbogen ſteht die Tangente im Kämpferpunkte nicht ſenkrecht zur Kämpferebene. Mit der lothrechten Begrenzungslinie des ſtützenden Widerlagers ergiebt ſich im Anſatzpunkte des Spitzbogens ein ſtumpfer Winkel oder ein Knick. Aus dieſem Grunde führt ein ſolcher Bogen auch die Bezeichnung Knickbogen.

Soll ein Knickbogen vermieden werden, ſo kann, wenn bei der Forderung der Einſchränkung der Scheitelhöhe des groſsen Randbogens noch die Bedingung der Benutzung gleich groſser Halbmeſſer für die Anſätze der Kreuz- und Randbogen geſtellt werden ſoll, ein aus zwei ſymmetriſchen Korbbogen zuſammengeſetzter Spitzbogen in Anwendung kommen.

In Fig. 467 iſt ein derartiger Spitzbogen gegeben. Der Anſatzbogen *A* iſt mit gegebenem Halbmeſſer um den in der Kämpferebene liegenden Mittelpunkt *a* beſchrieben. Durch *a* iſt ein ſonſt beliebiger, hier unter einer Neigung von 45 Grad zur Wagrechten angenommener Strahl gezogen, welcher im Schnitte mit dem Bogen *A* den Endpunkt dieſes Bogens beſtimmt. Auf dieſem Strahle wird der Punkt *b* als Mittelpunkt des mit *A* vereinigten Kreisbogens *B* ſo ermittelt, daſs dieſer Bogen durch den feſten Scheitelpunkt des Randbogens geht.

Bei dem ſtarren Innehalten eines gleichen Halbmeſſers, ſei es für die ganzen Kreuz- und Randbogen, ſei es nur für die Anfänge derſelben, wird namentlich bei verhältniſsmäſsig ſchmalen rechteckigen Gewölbefeldern die Geſtaltung des Gewölbes oft mit einem Zwange behaftet, welcher das harmoniſche Zuſammenwirken der einzelnen Beſtandtheile verwiſcht. Weit wichtiger, als das Anklammern an einzelne Conſtructionsregeln, ſind hier das richtige Abwägen der Höhen der Scheitel zu einander und die maſsvolle Bildung von Bogenformen, welche, unter ſich in Vergleich gebracht, keine zu groſse Abweichung in dem Schwunge ihrer Linien aufweiſen. Hierbei kann, als Gruppen angeſehen, je für ſich entweder die ſtumpfere oder die ſchlankere, ſteilere Bogenform vorherrſchend werden. In den meiſten Fällen reicht hierfür der gewöhnliche Spitzbogen aus. Bei der Schmiegſamkeit ſeiner Form kann derſelbe ſowohl in äſthetiſcher, als auch in ſtatiſcher Beziehung mit Leichtigkeit den gewünſchten oder vorgeſchriebenen Verhältniſſen angepaſſt werden. In beſonderen Fällen iſt der eigentliche Spitzbogen durch eine Stelzung in zweckmäſsige Höhenlagen mit ſeinem Scheitel zu bringen.

Fig. 469.



Sehr oft und voll berechtigt werden die Randbogen, wenn ſie als Schildbogen dienen, nach einem Spitzbogen um *m* (Fig. 469) geformt, welcher der Bogenlinie

des oberen Abſchluſſes der in der Schildmauer angelegten gröſseren Licht- oder Thüröffnung concentriſch iſt. Liegt der Kämpfer der Oeffnung höher als der Kämpfer des Schildbogens, ſo erfährt dieſer Bogen eine Stelzung.

γ) Die Scheitel der Kreuzbogen tiefer, als die Scheitel der Randbogen gelegen.

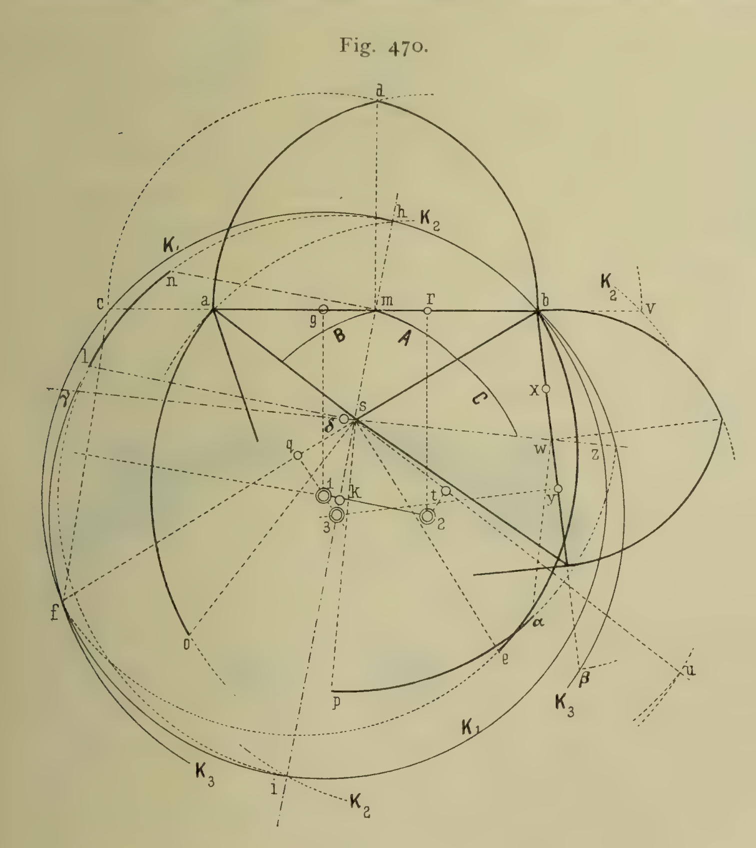
280.
Verſchiedenheit.

Bedingen bauliche Verhältniſſe bei der Anordnung der Kreuzgewölbe für den eigentlichen Gewölbeſcheitel eine tiefere Lage, als den Scheitelpunkten eines oder mehrerer Randbogen zugewieſen werden muſs, ſo kann die Geſtaltung der einzelnen Randbogen unter Beachtung der in den Fällen α und β gegebenen Erörterungen auch hier ohne Schwierigkeit vorgenommen werden. Meiſtens geht man hierbei wieder von einem gewählten Kreuzbogen aus. Sind die Höhen der Randbogen einmal feſt geſtellt, ſo iſt hiernach eine ſchickliche Form des Kreuzbogens zu nehmen, damit ein gut geordnetes, in ſeinen Linien nicht in ſchreiendem Widerſpruch ſtehendes Bogen- und Kappenſyſtem dargeſtellt werden kann. Umgekehrt kann man bei dieſer Entwickelung auch von der Form des höchſten oder irgend eines anderen Randbogens ausgehen und danach die Kreuzbogen, ſo wie die übrigen Randbogen feſt legen. Der Spitzbogen, an ſich oder geſtelzt, liefert dabei wiederum ein weſentliches Hilfsmittel.

281.
Unregelmäſsiges Gewölbefeld.

Iſt ein einfaches gothiſches Kreuzgewölbe über einem unregelmäſsigen Gewölbefelde herzurichten, ſo iſt die wagrechte Projection des Gewölbeſcheitels zweckmäſsig der Schwerpunkt der Grundriſsfigur. Läſst ſich durch die Ecken einer vier- oder mehrſeitigen, völlig unregelmäſsigen Grundriſsfigur ein Kreis legen, ſo kann auch der Kreismittelpunkt, wenn derſelbe nicht zu weit vom Schwerpunkte der Fläche entfernt liegt, als Grundriſsprojection des Gewölbeſcheitels angenommen werden. Die wagrechten Projectionen der Gratbogen, welche jetzt die Stelle der Kreuzbogen über regelmäſsigen Gewölbefeldern vertreten, ſind gerade Linien, welche von der Grundriſsprojection des Gewölbeſcheitels nach den Ecken des Gewölbefeldes gezogen werden. Das Austragen der Grat- und Randbogen erfolgt in ihren weſentlichen Grundlagen eben ſo, wie bei den einfachen Gewölben über

Fig. 470.

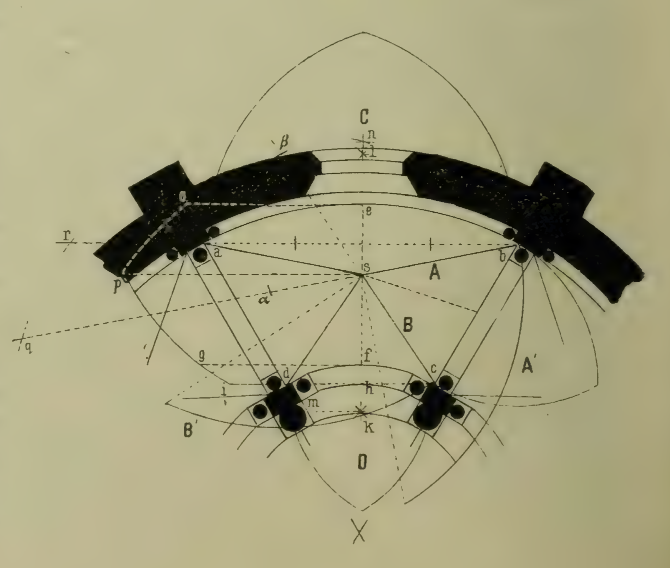


rechteckigen Gewölbefeldern. Das Nähere hierfür soll durch Fig. 470 angegeben werden.

Dieselbe kennzeichnet einen Theil eines unregelmäfsigen Gewölbefeldes mit den Ecken a, b und der Grundrifsprojection s des Gewölbescheitels. Danach sind sa und sb die wagrechten Projectionen von Gratlinien, welche die Gewölbkappe asb mit dem Randbogen über ab begrenzen. Die wagrechten Projectionen der Scheitellinien der Kappen gehen von s nach den Mitten der Seitenlinien. Die Geraden sm, bezw. sw entsprechen dieser Lage. Der Gratbogen über bs sei der Kreisbogen be, dessen Mittelpunkt in q auf der Verlängerung von bs angenommen wurde. Hierdurch ist die Höhe se des Gewölbescheitels über der Kämpferebene fest gelegt. Die Randbogen mögen hier eine geringere Scheitelhöhe erhalten. Nach Annahme der Höhe md des Randbogens adb sind g und r als Mittelpunkte der Bogenschenkel bd und ad ermittelt. Auf ganz ähnlichem Wege ist der zweite, in b antretende Randbogen mit den Mittelpunkten x und y zu gestalten. Der Gratbogen über as mufs die Höhe so gleich se besitzen. Hiernach ist derselbe als Kreisbogen ao mit dem Mittelpunkte in t, welcher auf der Verlängerung von as liegt, zu zeichnen. Sollen die Kappenstücke A, B, C u. s. w. in ihren Laibungen Kugelflächen angehören, welche von den angrenzenden Grat- und Randbogen sofort abhängig gemacht werden, so werden in der genügend beschriebenen und aus der Zeichnung noch weiter zu ersehenden Weise der Punkt 1 als Mittelpunkt der Kugelfläche A mit dem gröfsten Kreise K_1, der Punkt 2 als Mittelpunkt der Kugelfläche B mit dem gröfsten Kreise K_2 und der Punkt 3 als Mittelpunkt der Kugelfläche C mit dem gröfsten Kreise K_3 gefunden. Unter Benutzung dieser gröfsten Kreise erhält man die Form der Scheitellinie über ms als Schnittlinie der beiden Kugelflächen K_1 und K_2 in dem Kreisbogen nl. Derselbe ist ein Stück vom Kugelkreise $h\gamma i$, dessen Mittelpunkt k offenbar Halbirungspunkt der Geraden hi der Schnittpunkte h und i der gröfsten Kreise K_1 und K_2, oder auch einfach der Fufspunkt des von 1, bezw. auch von 2 auf die verlängerte Gerade ms gefällten Lothes sein mufs. Beide Beziehungen sind in der Zeichnung zu erkennen. Um den Bogen nl der Scheitellinie über ms austragen zu können, hätte man also entweder nur den gröfsten Kreis K_1 oder nur den gröfsten Kreis K_2 nöthig gehabt. Zur Bestimmung der Scheitellinie αp über ws, welche der Kappe C angehört, genügt demnach auch der gröfste Kreis K_3 der Kugelfläche C allein. Das vom Mittelpunkt 3 desselben auf die Verlängerung von ws gefällte Loth giebt den Fufspunkt δ. Der Schnitt z der erweiterten Geraden sw mit dem Kreise K_3 liefert mit δ in δz den Halbmesser des um δ beschriebenen Kreisbogens αp jener Scheitellinie.

Das angegebene Verfahren ist für alle Kappen des unregelmäfsigen Gewölbefeldes weiter anzuwenden. Ein wagrechter Schnitt durch das Gewölbe würde Kreisbogen auf den Laibungsflächen ergeben, welche in ihrer Grundrifsprojection als A um 1, als B um 2, als C um 3 u. s. w. zu beschreiben wären.

Fig. 471.



282. Ringförmiges Gewölbefeld.

Ift der Grundrifs des Gewölbefeldes ein Ringftück *abcd* (Fig. 471), fo können die erörterten grundlegenden Handhabungen für die Ausmittelung der Grat- und Randbogen, bezw. der Kugelflächen der Kappen ebenfalls Platz greifen. In der Darftellung ift *s* der Schwerpunkt der Grundrifsfläche; die von *s* nach den Ecken derfelben gezogenen geraden Linien find die wagrechten Projectionen der Gratbogen.

Ift die Scheitelhöhe des Gewölbes feft geftellt, fo werden derfelben entfprechend die Gratbogen wie A_1 für A aus α, B_1 für B aus β u. f. f. als Kreisbogen gefchlagen. Für die Kappenflächen *aebs* und *cfds* ift die Geftaltung mit Hilfe von ideellen Randbogen C über der Sehne *ab* des Kreisbogens *aeb*, bezw. D über der Sehne *cd* des Kreisbogens *cfd* leicht vorzunehmen. Je nach der Höhe, welche man für diefe Bogen im Allgemeinen verfchieden grofs annehmen kann, im Befonderen aber in jedem vorliegenden Falle den baulichen Verhältniffen entfprechend wählt, entftehen mehr ftumpfe oder mehr fchlanke Spitzbogen als Hilfsbogen. Die Randbogen der geraden Seiten *ad* und *bc* find ohne Weiteres in fchicklicher Form auszutragen. Unter Benutzung des Hilfsbogens über *ab* und des Gratbogens über A ift m als Mittelpunkt der Kugelfläche des Kappenftückes über *ebs* mit dem durch b, n, r, q gehenden gröfsten Kreife in der früher angegebenen Weife gefunden und hierauf die Scheitellinie *op* über *es* als Kreisbogen mit dem Halbmeffer *kn* gefchlagen. Für das Kappenftück über *cfs* wird β der Kugelmittelpunkt und der um l mit *lp* befchriebene Kreisbogen *pg* die lothrechte Projection der Scheitellinie über *fs*. Führt man den Kreisbogen über g bis i auf dem Lothe *hi* zu *sk* fort, fo mufs *hi* genau der Höhe des ideellen Randbogens über *cd* entfprechen. Die nach *ab*, bezw. *cd* vorhandenen cylindrifchen Begrenzungsflächen durchfchneiden die antretenden Kugelflächen der Kappen nach krummen Linien, deren lothrechte Projectionen, da die Kugelflächen vollftändig beftimmt find, äufserft einfach ermittelt werden können. Sollen ftatt der einfachen Gratkörper bei einem folchen Gewölbe Gratrippen und eben fo an den übrigen, gekrümmten oder geraden Seiten des Gewölbefeldes Gurtrippen, bezw. Schildbogenrippen angeordnet werden, fo ift die weitere Durchbildung derfelben nach den in der Zeichnung vorgenommenen Ausmittelungen der Curve, welcher ein Rippenkörper zu folgen hat, ohne Schwierigkeit zu bewirken.

2) Mehrtheilige gothifche Kreuzgewölbe.

(Stern- und Netzgewölbe.)

283. Grundgedanke.

Zerlegt man die Gewölbekappen eines urfprünglich einfachen gothifchen Kreuzgewölbes, welches nur mit Kreuz- und Randbogen, bezw. Rippen auftritt, weiter durch befonders geordnete und felbftändig gebildete Zwifchenbogen, bezw. Zwifchenrippen, fo entfteht das mehrtheilige gothifche Kreuzgewölbe. Schon das in Art. 236 (S. 346) erwähnte fog. fechstheilige Kreuzgewölbe erfcheint als ein mehrtheiliges Gewölbe. Die weitere Theilung der bei folchen Anlagen vorweg noch nicht durch eine Mittelrippe zerlegten beiden gröfseren Kappen führt beim Einfügen einer folchen Rippe zu einem achttheiligen Gewölbe. Die bei diefen Gewölbearten eingeführten Zerlegungen der Kappen kommen verfchiedentlich bei Bauwerken des XII. und XIII. Jahrhundertes vor; fie haben aber eine allgemeine Anwendung im Sinne eines eigentlichen Syftemes bei den Gewölben der gothifchen Baukunft nicht gefunden. Bei diefen geht das Zerlegen der Kappen wefentlich durch Zwifchenrippen vor, welche, von den ftützenden Eckpunkten des Gewölbes aus geführt, eine Theilung der Kappen zwifchen Rand- und Kreuzbogen in kleinere, weniger weit gefpannte Gewölbftücke bewirken. Diefe Zwifchenrippen oder Nebenrippen (Liernen) find wiederum tragende Beftandtheile des Gewölbes. Aufserdem tritt zur weiteren Ausbildung des Rippenfyftemes häufig eine Verbindung des Scheitels der einzelnen, für fich zufammengeführten Zwifchenrippen mit dem Scheitel der Hauptrippen (Kreuz-, bezw. Gurt- oder Schildbogenrippen) durch Scheitel- oder Firftrippen ein. Diefe bezwecken eine weitere Verfpannung des Rippenwerkes unter fich. Je forgfältiger ein mafsvolles, geregeltes und von Willkür freies Einfügen von Rippenkörpern ftattfindet, um fo wohlthuender und gediegener wirkt die Anlage des mehrtheiligen Kreuzgewölbes.

Durch derartige Geſtaltungen entſtehen die Stern- und Netzgewölbe, deren Körper oft ein ſehr reich entwickeltes Rippenwerk als Gliederung erhalten. Ihre Benennung iſt in Rückſicht auf das geometriſche Muſter entſtanden, welches durch das Zuſammenfügen des Rippenſyſtemes entſpringt. So lange der Grundſatz befolgt wird, eine edle und ſchöne Formgeſtaltung dieſer Gewölbe mit den für dieſelben geltenden ſtatiſchen Geſetzen, welche vorſchreiben, daſs das geſammte Rippenſyſtem ſowohl in ſich ſelbſt ſchon mit ſeinen Stützpunkten, als auch mit den dazwiſchen liegenden Kappen in ſtabilem Gleichgewichtszuſtande befindlich ſein ſoll, in Einklang zu bringen, bleibt auch das eigentliche Weſen des gothiſchen Kreuzgewölbes, wonach jeder Bautheil deſſelben den jedesmal vorgeſchriebenen Bedingungen ſtreng entſprechend auszubilden iſt, gewahrt. Starren Handwerksregeln darf hierbei ein gröſseres Gefolge nicht eingeräumt werden, vielmehr hat ein geregeltes künſtleriſches Schaffen ſtets die Oberhand zu behalten. Als eine Unterſtützung für eine in dieſem Sinne zu bewirkende Geſtaltung der mehrtheiligen Kreuzgewölbe ſollen im Folgenden einige Entwickelungen gegeben werden, welche für die Grund- und Aufriſsbildung derartiger Gewölbe Anhaltspunkte bieten können.

284.
Einfaches Sterngewölbe: quadratiſcher Grundriſs.

Iſt die Grundriſsfigur des Gewölbefeldes ein Quadrat, ſo können alle Bogen der Gewölberippen als Kreisbogen mit gleichem Halbmeſſer beſchrieben werden. Derjenige Bogen, deſſen Halbmeſſer als maſsgebend für alle übrigen Bogen angenommen wird, führt den Namen Principalbogen. Meiſtens wird hierfür ein Bogen, welchem der gröſste Halbmeſſer zukommt, gewählt, wie auch ſonſt die Form dieſes Bogens, ob Halbkreis, ob Spitzbogen oder Flachbogen, beſchaffen ſein mag.

Fig. 472.

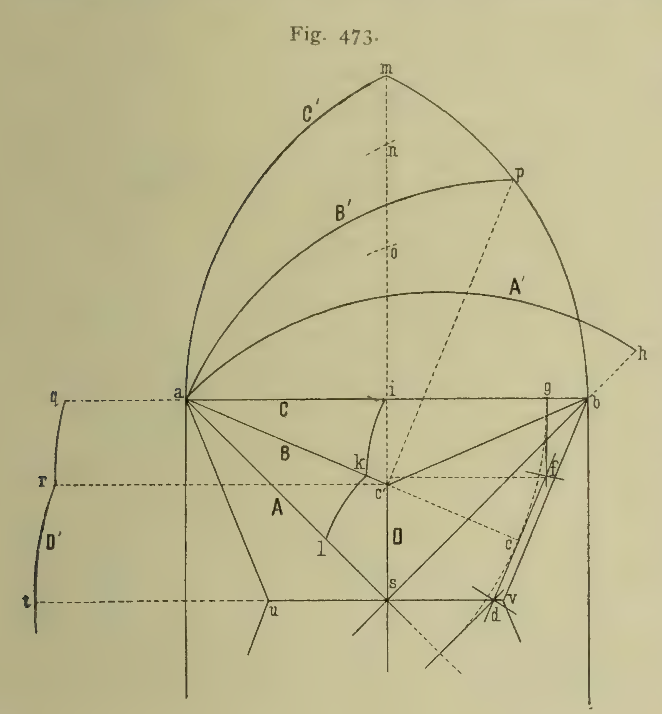
Bei dem quadratiſchen Gewölbefelde in Fig. 472 iſt die Hälfte A_1 des Diagonalbogens als Principalbogen genommen. Derſelbe iſt hier ein Viertelkreis *a b* mit dem Halbmeſſer *s a*, alſo der ganze Kreuzbogen ein Halbkreis mit *s* als Mittelpunkt. Die geraden Linien *a c*, *a t*, *b c*, *b t* u. ſ. f. ſind die wagrechten Projectionen der Zwiſchenrippen. Die Punkte *c* oder *t*, *u*, über welchen die Scheitel der einzeln unter ſich zuſammentretenden Zwiſchenrippen liegen, ſind hier als im Schnitt der Halbirungsſtrahlen *a c*, bezw. *b c* u. ſ. f. der Winkel *b a s*, bezw. *a b s* u. ſ. f. befindlich, angenommen, können aber auch als Schwerpunkte der Dreiecksflächen *a s b* u. ſ. f., welche zwiſchen den Kreuz- und Randbogen im Grundriſſe entſtehen, beſtimmt werden. Die Geraden *s c* oder *s t*, *s u* u. ſ. f. geben die Lage der Scheitelrippen an.

Beſchreibt man um *a* mit dem Halbmeſſer *a s* des Principalsbogens A_1 einen Kreisbogen *s e*, ſo erhält man im Schnitte *d* deſſelben mit der verlängerten Geraden *a c* den Mittelpunkt für den Kreisbogen B_1

der Zwifchenrippe über B mit dem Halbmeffer $da = sa$ und in cn die Höhe des Scheitels der Rippen ac und bc über der wagrechten Kämpferebene, während in dem Schnitte e des Kreisbogens se mit der Seite ab des Quadrates der Mittelpunkt des Schenkels C_1 des Spitzbogens über ab gefunden wird. Für das Austragen der Scheitelrippe über cs hat man zu beachten, dafs vermöge des gemeinfchaftlichen in der Kämpferebene liegenden Ausgangspunktes a die für A und B vorhandenen Kreisbogen A_1 und B_1, deren Mittelpunkte s und d gleichfalls der Kämpferebene angehören, die Kappenfläche über acs als reine Kugelfläche geftaltet werden kann. Der Mittelpunkt g diefer Kugelfläche ift der Schnitt der in s auf as und in d auf ad errichteten Lothe. Der mit ga um g befchriebene gröfste Kreis fchneidet die Verlängerung der Grundrifsprojection cs der Scheitelrippe im Punkte v. Der Fufspunkt i des von g auf sv gefällten Lothes gi wird der Mittelpunkt für den Kreisbogen D_1 der Scheitelrippe. Der zugehörige Halbmeffer ift gleich iv.

Die Scheitellinie op über kc ift ein Kreisbogen, welcher, um h mit dem Halbmeffer hw befchrieben, einer Kugelfläche zwifchen den Kreisbogen B_1 und C_1 zugewiefen wird. Der Mittelpunkt f diefer zweiten Kugelfläche ift der Schnitt der Lothe in d zu ad und in e zu ab; ihr Halbmeffer ift fa, und ihr in der Kämpferebene vorhandener gröfster Kreis fchneidet die Verlängerung von kc in w. Sollte ftatt der einfachen Scheitellinie op eine Scheitelrippe eingefetzt werden, fo beftimmt der Bogen op die Geftaltung derfelben. Nach dem Austragen der einzelnen Rippenbogen ift der Aufrifs oder, wie in der Zeichnung gefchehen, der fenkrecht in der Richtung tu genommene Schnitt des Gewölbes ohne Weiteres darzuftellen. Ein wagrecht gelegter Schnitt ergiebt z. B. Kreisbogen ml, befchrieben um g und lk, befchrieben um f auf den zugehörigen Laibungsflächen der Kappen.

Fig. 473.



285.
Rechteckiger Grundrifs.

Ift (Fig. 473) der Principalbogen über as der Schenkel A_1 eines Spitzbogens mit dem Halbmeffer ga, fo bleibt der einzufchlagende Weg für das Austragen der fämmtlichen Kreuz-, Zwifchen-, Stirn- und Scheitelrippen unter Anwendung diefes feften Halbmeffers, fo wie für die Ausmittelung der Kugelflächen der Kappen derfelbe, wie vorhin. Aus der Zeichnung ift das Nähere fofort erfichtlich.

Auch bei einem rechteckigen Gewölbefelde kann unter Beibehaltung deffelben Halbmeffers nach derfelben Grundlage die Beftimmung der Form der Rippen und Kappen erfolgen.

Eine folche Darftellung giebt Fig. 474 mit dem Principalbogen C über einer halben Diagonale rs, deffen Halbmeffer gleich der Länge der kleinen Seite ra des rechteckigen Gewölbefeldes genommen ift.

Zur weiteren Erklärung der Zeichnung diene, dafs die Mittelpunkte der Bogen A, B, C, D und E durch Schlagen eines Kreifes um r mit dem Halbmeffer ra in a, b, c, d, e gefunden find, dafs der Reihe nach $1, 2, 3, 4$ die Mittelpunkte der Kugelflächen für die Kappenftücke $1_1, 2_1, 3_1, 4_1$ mit den zugehörigen gröfsten Kreifen k_1, k_2, k_3, k_4 werden und dafs endlich auf Grund der Beftimmtheit diefer Kugelflächen die Mittelpunkte der Scheitelbogen F, G, H, J leicht in f_1, g_1, h_1, i_1 ermittelt werden können. Würde bei einer vorgefchriebenen Stärke der Kappe 1_1, welche durch den um 1 concentrifch k_1 gefchlagenen Kreisbogen q angegeben ift, die Einwölbung nach concentrifchen Ringfchichten vorgenommen, fo würde om die Grundrifsprojection einer folchen Wölbfchicht bedingen. Der Aufrifs, fo wie das nach der Rich-

tung *tu* gegebene Bild vom halben Gewölbe dienen zur Verdeutlichung der Gewölbgeftaltung.

Fig. 474.

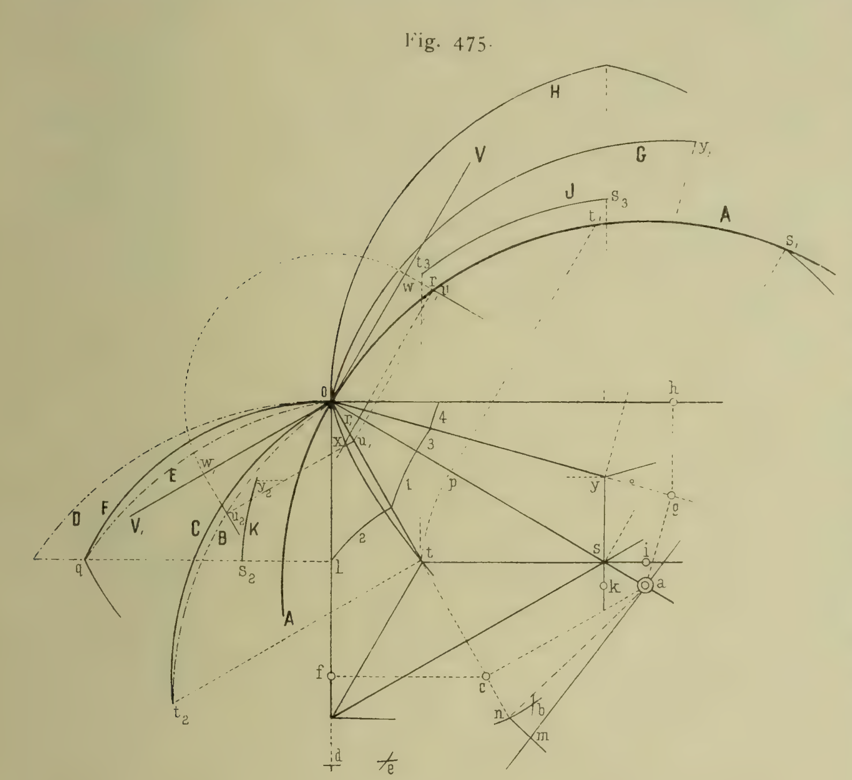
Der Umftand, dafs bei der Anwendung eines und deffelben Halbmeffers für fämmtliche Kreuz-, Rand- und Zwifchenbogen die Scheitelhöhe und die Form der Randbogen der kleinen Seite eines rechteckigen Gewölbefeldes in Rückficht auf den grofsen Randbogen oder in Bezug auf die Höhen und Formen der übrigen Bogen in der einen oder der anderen Weife nicht günftig werden, giebt oft Veranlaffung, die Geftaltung folcher Gewölbe nach feftem Halbmeffer aufzugeben, vorausgefetzt, dafs man zur Erzielung einer beftimmten Höhe für die kleineren Randbogen nicht etwa die in Art. 279 (S. 408) erwähnten Knickbogen oder geftelzte Bogen anwenden will. Aehnliche Verhältniffe könnten fich felbft bei Zwifchenrippen in der an der kleinen Rechteckfeite liegenden Hauptkappe geltend machen, fo dafs auch für diefe Rippen eine Abänderung des feften Halbmeffers räthlich fein würde.

Fig. 475 foll hierüber Auffchlufs geben. Der Principalbogen *A* des hier verhältnifsmäfsig fchmalen rechteckigen Gewölbefeldes gehört der Hälfte eines fpitzbogigen Diagonalbogens an. Sein Mittelpunkt ift *a*, alfo fein Halbmeffer gleich *a o*. Würde man diefen Halbmeffer in $do = ao$ für den Randbogen der kleinen Seite beibehalten, fo entftände hier ein reichlich fteiler Spitzbogen mit Bogenfchenkeln *D*. Wollte man die Höhe diefes Bogens verringern und etwa gleich *tq* nehmen, fo ift der mit dem Halbmeffer

$do = ao$ aus o und q beſtimmte Kreuzriſs e der Mittelpunkt des Knickbogens E. Zur Vermeidung dieſes Knickbogens, aber zur Erzielung lothrechter Anſätze ſämmtlicher Bogen in ihren Anfängen und endlich zur Einführung von Scheitelhöhen für die Rand- und Zwiſchenbogen, welche unter ſich in geregelte Beziehung gebracht ſind, kann man ſich des Principalbogens A, ohne gleiche Halbmeſſer für die Rippenbogen zu benutzen, in der folgenden Weiſe bedienen.

Sind die wagrechten Projectionen y und t der Scheitelpunkte der Zwiſchenbogen feſt gelegt, hier in y auf dem Halbirungsſtrahle des Winkels hos, in t dagegen als Schwerpunkt der Dreiecksfläche zwiſchen der kleinen Rechteckſeite und den angrenzenden beiden Grundriſslinien der Kreuzbogen, ſo fälle man vom Mittelpunkte a des Principalbogens A im Grundriſſe das Loth ag auf die Verlängerung von oy, ferner von g das Loth gh auf die groſse Rechteckſeite; eben ſo das Loth ac auf die Verlängerung von ot und das Loth cf auf die kleine Rechteckſeite. Betrachtet man die Fuſspunkte g, h, c, f dieſer Lothe als Mittelpunkte der zugehörigen Bogen G, H, C, F, wofür die Halbmeſſer ſich ſofort als go, ho, co, fo ergeben, ſo gelangt man zu Bogenformen, welche auch hinſichtlich ihrer Scheitelhöhen in den meiſten Fällen in einem ſchicklichen Verhältniſſe zu einander ſtehen.

Fig. 475.



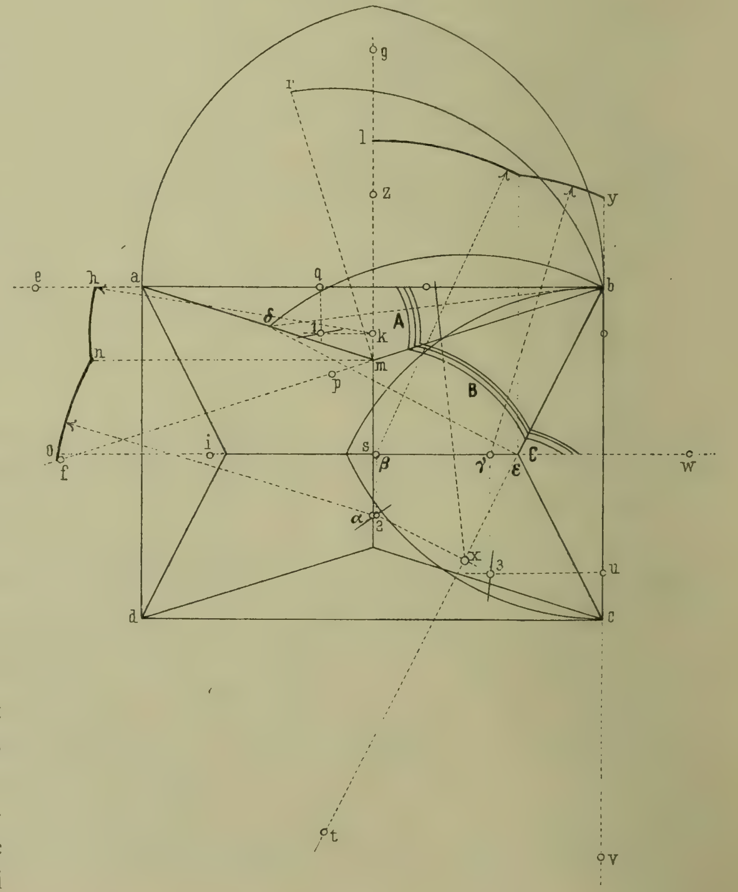
Sollen die Kappenflächen Theile von reinen Kugelflächen ſein, welche durch die ausgetragenen Bogen A, G, H, C, F beſtimmt werden, ſo iſt a der Mittelpunkt der Kappenflächen *1* und *3* mit dem Halbmeſſer ao und dem gröſsten Kreiſe A. Hieraus folgt ohne Weiteres, daſs die Kreuzrippe über os nur die Kugelfläche der Kappen *1* und *3* gliedert. Die Kappenfläche *4* gehört einer beſonderen Kugelfläche mit dem Mittelpunkte g, dem Halbmeſſer go und dem gröſsten Kreiſe G an. Eben ſo entſpricht die Kappenfläche *2* einer beſonderen Kugelfläche mit dem Mittelpunkte c, dem Halbmeſſer co und dem gröſsten Kreiſe C. Zum Austragen der Scheitelrippe J über ts dient die Kugelfläche um a. Das von a auf die Verlängerung von ts gefällte Loth ergiebt i als Mittelpunkt des Bogens J. Der Halbmeſſer desſelben iſt gleich der Länge eines von i nach dem gröſsten Kreiſe A gezogenen Strahles. Da ss_3 auch gleich ss_1 ſein muſs, ſo iſt der Bogen J ausreichend beſtimmt. Beſchreibt man um a den Kreisbogen tp, ſo ſind, der Kugelfläche um a entſprechend, auch $tt_3 = pt_1 = tt_2$.

Für die Scheitellinie K über sy iſt $ss_2 = ss_1$ und der Fuſspunkt k des von a auf yk gefällten Lothes ak der Mittelpunkt.

Hätte man unter der Annahme der Höhe $tt_2 = pt_1$ für den Zwifchenbogen über ot einen Knickbogen mit dem Halbmeffer ao des Principalbogens fchlagen wollen, fo liefert der aus o und t_2 mit $ao = do$ gezeichnete Kreuzrifspunkt b, welcher um eine Strecke gleich mn unter der Kämpferebene liegen würde, den Mittelpunkt diefes Knickbogens B. Ein Vergleich deffelben mit dem vorhin ausgetragenen Bogen C giebt nur mäfsige Abweichungen an. Führt man durch die Gewölbekappe I einen wagrechten Schnitt w, bezw. w_1, fo ift der um a befchriebene Kreisbogen $r_1 x$ die Grundrifsprojection der Schnittlinie. Würde die Bedingung geftellt, dafs eine von o nach t_2 auffteigende Zwifchenrippe einer cylindrifchen Fläche mit einem Knickbogen B als Leitlinie angehören follte, welche für Punkte wie r und w_2 gleiche Höhenlage über der Kämpferebene erhielte, fo würde eine gewundene Zwifchenrippe entftehen, deren wagrechte Projection als eine krumme Linie oxt leicht beftimmt werden könnte. Derart gewundene Rippen kommen bei gothifchen Gewölben hier und dort wohl vor; fie find im Allgemeinen aber unfchön und können nur in ganz befonderen Fällen eine gewiffe, meiftens jedoch nur geringe Berechtigung in Rückficht auf die ftatifchen Verhältniffe der beiden von folchen gewundenen Bogen getragenen Kappen haben.

Das in Fig. 475 dargeftellte einfache Sterngewölbe kann hinfichtlich der Form feiner Zwifchen- und Randbogen durch ein Verlegen der Punkte g, h, c, f die mannigfachfte Abänderung erfahren. Zweckmäfsig betrachtet man die nach den Austragungen der einzelnen Bogen gezeichneten Längen- und Querfchnitte des Gewölbes als vorläufige Skizzen, beffert in denfelben, falls noch Unfchönheiten in der Geftaltung erblickt werden, aus freier Hand die Bogen- und Kappenlinien in künftlerifcher Weife ein und fucht hiernach, gleichfam rückwärts gehend, in der Kämpferebene die Mittelpunkte derjenigen Kreisbogen auf, welche den entworfenen Bogen thunlichft nahe kommen und an deren Stelle zu treten haben. Auf diefem Wege ift die gefetzliche Freiheit bei der Geftaltung folcher Gewölbe gewahrt.

Fig. 476.



286. Einfaches Netzgewölbe.

Fehlen in einem mehrtheiligen Kreuzgewölbe, wie bei der in Fig. 476 über einem rechteckigen Felde gegebenen Darftellung angenommen ift, die Diagonalbogen, fo ändert fich der Gang des Austragens der Rand-, Zwifchen- und Scheitelbogen nicht. Nach den gemachten Mittheilungen find, nachdem die Höhen der Scheitelpunkte der Randbogen und der Zwifchenbogen, wofür z. B. $mr = \varepsilon\delta$ genommen ift, feft geftellt wurden, die einzelnen, aus der Zeichnung fofort zu erkennenden Ausmittelungen der Beftandtheile vorzunehmen. Bemerkt fei

nur, dafs *1* der Mittelpunkt der Kugelfläche *A* und *g* ein Punkt ihres gröfsten Kreifes ift, während *2* und *w*, *3* und *i* für die Kugelflächen *B*, bezw. *C* als Mittelpunkte und Punkte zugehöriger gröfster Kreife in Betracht kommen.

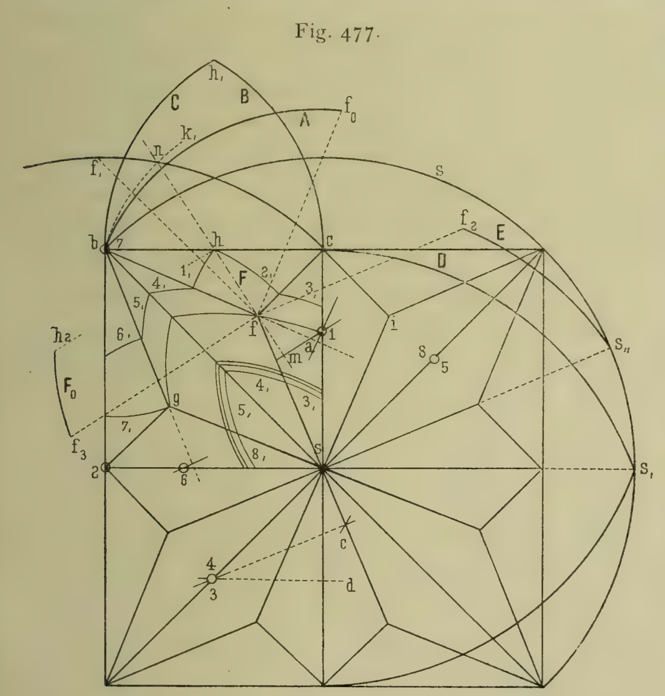
Die im Grundriffe gegebene Anordnung des Rippenfyftemes, wonach bei dem Fehlen der Kreuzrippen eine Abänderung des einfachen Sterngewölbes eintritt, zeigt die einfachfte Geftaltung eines Netzgewölbes.

287.
Mehrgliedriges Sterngewölbe.

Wird das Rippenfyftem des einfachen Sterngewölbes durch Hinzunehmen einer gröfseren Zahl von Zwifchen-, Scheitel- und Nebenrippen als ein erweiterter tragender Gerüftkörper für die Kappenwölbung geftaltet, und entfpricht dabei die Grundrifsbildung des Rippenwerkes der Form eines mehr- oder vielftrahligen Sternes, fo entfteht das mehrgliedrige Sterngewölbe. Daffelbe wird oft Sterngewölbe ausfchliefslich genannt.

Die Grundlage der Entwickelung diefes Gewölbes bietet das einfache gothifche Gewölbe mit feinen Diagonalbogen. Die weitere Theilung der Hauptkappen deffelben durch Vervielfältigung der Rippen bedingt die Bildung des oft mannigfaltig und reich geftalteten Sterngewölbes. Hierdurch unterfcheidet fich daffelbe von dem fpäter zu berückfichtigenden mehrfach gegliederten Netzgewölbe. Die Austragungen der Bogen für die Rippen des mehrgliedrigen Sterngewölbes können in derfelben Weife vorgenommen werden, wie bei dem einfachen Sterngewölbe gezeigt ift.

Fig. 477.



Als Beifpiel foll hier ein Sterngewölbe, deffen Grundlage ein achttheiliges Kreuzgewölbe bildet, in Fig. 477 dienen. Der Grundrifs ift ein Quadrat, deffen Seiten acht Stützpunkte des Gewölbes enthalten, fo dafs an jeder Seite des Quadrats zwei Randbogen entftehen. Die Diagonalbogen mögen Halbkreife fein.

Hierdurch ift die Scheitelhöhe des ganzen Gewölbes gleich dem Halbmeffer $s\,b$ beftimmt. Die parallel zu den Seiten durch die Stützen *c* und *2* geführten Theilrippen gehen durch den Gewölbfcheitel, haben alfo eine Höhe $s\,s_1 = s\,b$. Ihre Bogenlinie ift ein Spitzbogen, wofür die Mittelpunkte, wie *d* für *D*, auf bekanntem Wege gefunden werden können. Die Randbogen find Spitzbogen mit den Schenkeln *B* und *C*, befchrieben aus *b* und *c*. Zwifchenrippen wie $b\,f$, $c\,f$ u. f. f. halbiren in ihrer Grundrifslage die Winkel $c\,b\,s$, $b\,c\,s$ u. f. f., fo dafs nach dem Feftlegen der Schnittpunkte *f*, bezw. *g*, die Lage der Scheitelrippen $f\,s$, $g\,s$ u. f. f. im Grundrifs vorgefchrieben wird.

Wird hiernach die geometrifche Grundrifsfigur des Rippenwerkes des ganzen Gewölbes vervollftändigt, fo entfteht die Form eines achtftrahligen Sternes. Setzt man die Höhe $f\,f_1$ der Zwifchenbogen über $b\,f$, bezw. $2\,g$ u. f. f. gröfser, als die Höhe $h\,h_1$ der Randbogen und kleiner als die Scheitelhöhe des gefammten Gewölbes z. B. in der Weife feft, dafs der Punkt *2* Mittelpunkt für den Bogen $c\,f_1$ wird, fo läfft fich hiernach auch der Bogen *A* über $b\,f$ mit der Höhe $f\,f_0 = f\,f_1$ nebft feinem Mittelpunkte *a* darftellen.

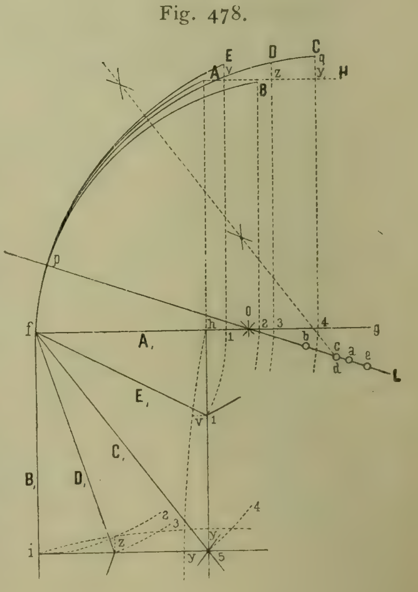
Nach diefen Beftimmungen find alle übrigen noch erforderlichen Austragungen leicht zu bewirken. Setzt man wiederum voraus, dafs die Laibungsflächen aller Kappen gefetzmäfsig entftehenden Kugelflächen zwifchen ihren zugehörigen Rippen angehören follen, fo wird der Schnitt *1* des Lothes *c 1* auf *b c* und des Lothes *a 1* auf *b a* der Mittelpunkt der Kugelfläche der Kappe 1_1 mit dem um *1* befchriebenen gröfsten Kreife k_1, deffen Halbmeffer gleich *1 b* ift. Die Scheitellinie F_0 über *F* wird der Kreisbogen $h_2 f_3$ mit dem Mittelpunkte *m*, alfo dem Fufspunkte des von *1* auf *h f* gefällten Lothes und dem Halbmeffer *m n*, welcher in der Richtung *f h* von *m* bis *n* auf dem gröfsten Kreife k_1 geführt wird. Der Bogen *E* der Scheitelrippe über *f s* ergiebt fich aus der Beftimmung der Kugelfläche der Kappe 3_1. Errichtet man im Mittelpunkte *2* des Bogens $c f_1$ über *c f* das Loth auf *c 2* und eben fo im Mittelpunkte *d* des Bogens *D* über *c s* das Loth auf *c d*, fo ift der Schnittpunkt *3* diefer Lothe der Mittelpunkt der Kugelfläche diefer Kappe. Ihr gröfster Kreis würde den Halbmeffer *3 c* befitzen. Fällt man von *3* das Loth *3 e* auf die Verlängerung von *f s*, fo ift *e* der Mittelpunkt des Kreisbogens *E* der Scheitelrippe über *f s*. Da $f f_2$ gleich $f f_1$, aufserdem auch $s s_{,,}$ gleich *s b* fein mufs, fo ift der Bogen *E* überreichlich beftimmt. Sein Halbmeffer ift $e f_2$, bezw. $e s_{,,}$. Nach gleichen Mafsnahmen find die Punkte *4, 5, 6, 7, 8* als Mittelpunkte der Kugelflächen der Kappen 4_1, 5_1 bis 8_1 aufgefucht. Wagrechte Ebenen rufen Schnittlinien auf diefen Kappenflächen hervor, welche, den Mittelpunkten entfprechend bezeichnet, im Grundriffe näher angedeutet find.

Nach diefen Angaben können die Austragungen der Beftandtheile eines Sterngewölbes, welches in anderer und in fonft beliebiger Weife angeordnet ift, befondere Schwierigkeiten nicht bereiten. Auch hier möge, wie in Art. 277 (S. 404), darauf hingewiefen werden, dafs, falls die einzelnen Kappen eine andere Bufung erhalten follen, als die nach einer Kugelfläche gebildete Wölbung ergiebt, leicht auf Grund der ermittelten Kugelflächen eine Umwandelung derfelben in befondere fphäroidifche Flächen vorgenommen werden kann. Hierauf wird fpäter Rückficht genommen werden.

288.
Korbbogen als Rippenbogen.

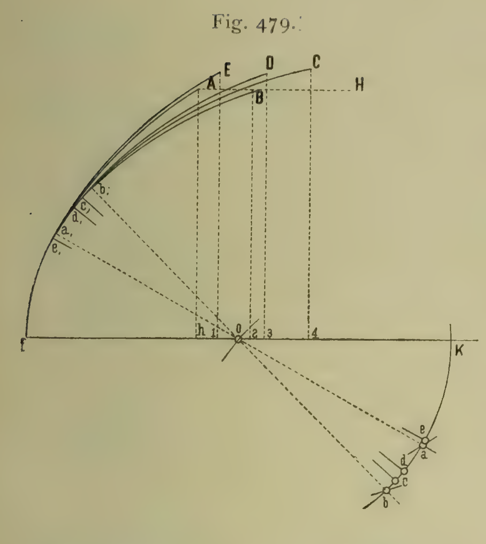
Statt der einfachen Kreisbogen können für die Bogenlinien der Rippen eines Sterngewölbes auch Korbbogen benutzt werden. Solches ift der Fall, wenn die einzelnen Rippenbogen eine genau vorgefchriebene Höhe erhalten und in ihren Anfängen ftets gleichen Halbmeffer befitzen follen. Diefe Bogenformen haben namentlich in der englifchen Gothik Verwendung gefunden. Meiftens ift den fämmtlichen Bogen gleiche Scheitelhöhe über der Kämpferebene gegeben. Das Austragen derfelben ändert fich im Wefen aber auch nicht, wenn den Kreuz- und Zwifchenbogen in Bezug auf die Randbogen verfchiedene Scheitelhöhen zugewiefen werden follen. In Rückficht hierauf ift in Fig. 478 für die Randbogen *A* und *B* eine gleiche Höhe feft gefetzt, während der Zwifchenbogen *E* diefe Höhe um das Mafs *v*, der Bogen *D* um die Strecke *z* und der Hauptbogen *C* um die Länge *y* überfchreitet. Die Höhenunterfchiede *v, z, y* find durch die im Grundrifs eingetragenen, mäfsig gekrümmten Hilfslinien *h y* und *i y* gewonnen. Sämmtliche Bogen find in ihren Anfängen *f p* mit einem gleichen Halbmeffer *p o* um den auf der wagrechten, durch den Kämpferpunkt *p* gehenden Linie *f g* beliebig genommenen Punkt *o* als Mittelpunkt befchrieben. Auf dem durch *o* und *p* geführten Strahle *p L* follen die Mittelpunkte der übrigen Bogen liegen.

Fig. 478.



Um den oberen Theil vom Hauptbogen *C* zu erhalten, ift *f 4* = *f 5* auf *f g* abgetragen, in *4* das Loth *4 q* gleich der Höhe diefes Bogens auf *f g* errichtet und mit Hilfe von Kreuzriffen aus *p* und *q* der Strahl beftimmt, welcher in feinem Schnitte *c* mit *p L* den Mittelpunkt des Bogenftückes *p C* als Fortfetzung des Anfatzftückes *f p* ergiebt. Der Bogen *f p q* ift der gefuchte Korbbogen der Hauptrippe. In gleicher Weife

Fig. 479.



werden die Mittelpunkte *a* für *A*, *b* für *B* u. ſ. f. ermittelt.

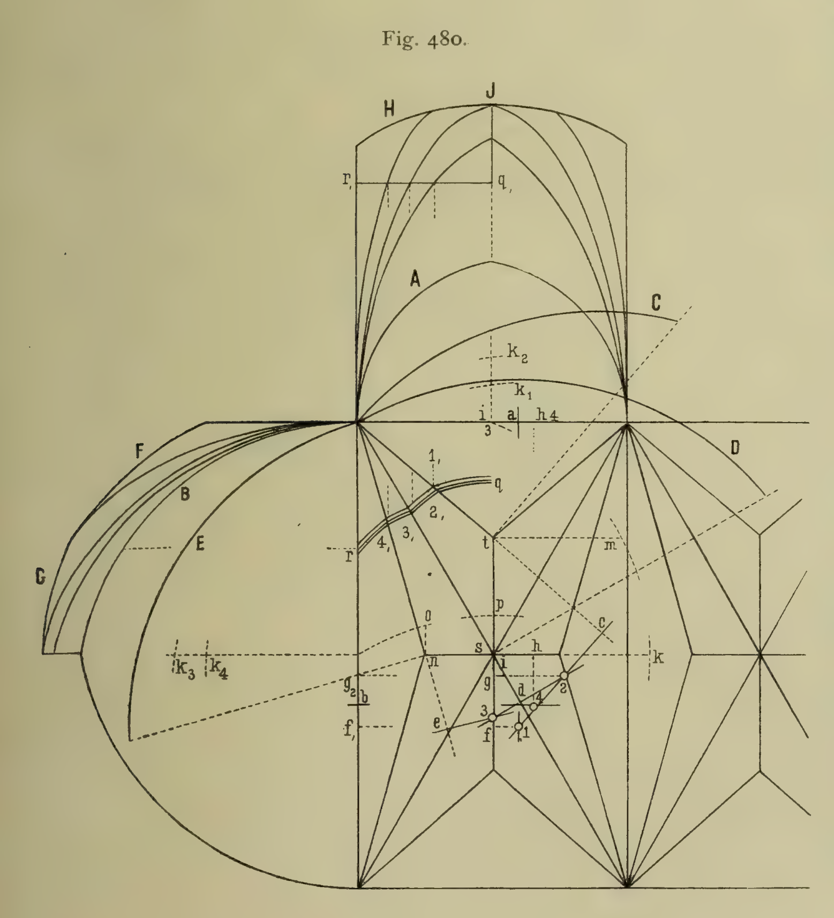
Bei dieſer Bildung der Korbbogen ſind im Allgemeinen die oberen Bogenſtücke mit verſchiedenen Halbmeſſern verſehen, während alle Anſätze neben gleichen Halbmeſſern auch gleiche Bogenlängen aufweiſen.

Läſſt man für die Bogenanſätze gleiche Halbmeſſer und eben ſo für die oberen Stücke der Bogen wiederum gleiche, aber den Scheitelhöhen entſprechende gröſsere Halbmeſſer einführen, ſo kann nach Fig. 479 das folgende Verfahren zum Austragen der Bogen benutzt werden.

Unter Annahme der Höhen der einzelnen Rippen iſt zunächſt *o* als Mittelpunkt für die Anſätze aller Bogen auf der wagrechten Linie *fK* gewählt. Um *o* iſt ferner mit beliebig groſsem Halbmeſſer, welcher in der Regel gleich *of* genommen wird, ein Kreisbogen *K* unterhalb *fK* geſchlagen. Behält man die Länge *fK* als Halbmeſſer der oberen Stücke der Rippenbogen bei, ſo liegen die Mittelpunkte derſelben auf dieſem Kreisbogen *K*.

Schnitte *a*, *b* u. ſ. f. der aus den Scheitelpunkten *A*, *B* u. ſ. f. von um *A*, *B* u. ſ. f. mit dem Halbmeſſer *fK* beſchriebenen Kreisbogen auf der Kreislinie *K* werden die Mittelpunkte der zugehörigen Korbbogenſtücke, deren Scheideſtrahlen, durch *ao*, *bo* u. ſ. f. geführt, die Vereinigungspunkte a_1, b_1 u. ſ. f. zwiſchen Anſatz- und Oberbogen der Rippen ergeben. Erſtere erhalten hierbei verſchieden groſse Bogenlängen.

Fig. 480.



Mehrſtrahlige Sterngewölbe über unregelmäſsigem Grundriſs werden nach denſelben, für regelmäſsige Gewölbe gegebenen Grundlagen behandelt. Im Uebrigen iſt dabei das in Art. 287 (S. 417) Geſagte zu beachten. Werden mehrere neben einander liegende gleiche Gewölbjoche (Fig. 480) mit Sterngewölben verſehen,

ſo erfolgt die Geſtaltung derſelben in der genügend erörterten, in der Zeichnung näher erkennbaren Weiſe.

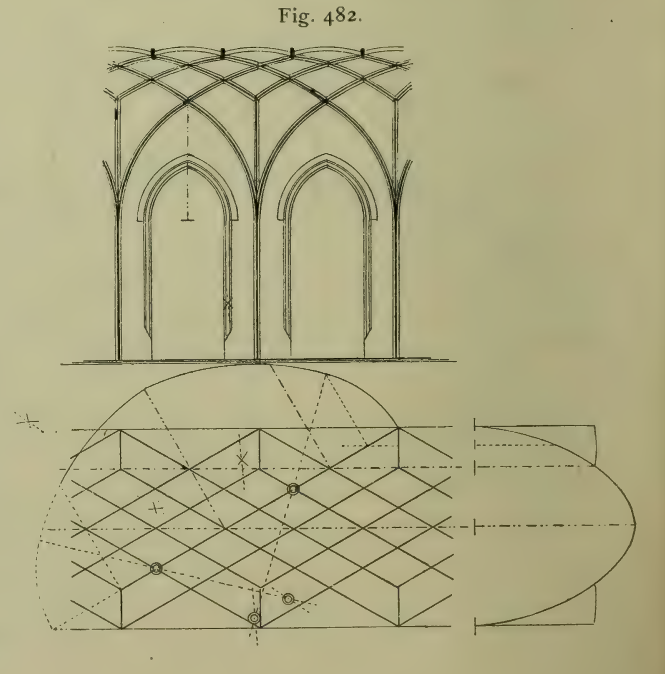
289.
Mehrgliedriges
Netzgewölbe.

Wird ein einfaches Netzgewölbe (ſiehe Art. 286, S. 416) durch eine Schar von Rippengebilden vermehrt, welche in ihrer Zuſammenfügung eine netzartige Verbindung ergeben, ſo entſteht das Tragſyſtem für ein mehrgliedriges Netzgewölbe. Die ſelbſtändig in die Felder des Rippenſyſtemes eingefügten und von demſelben geſtützten Kappen ſind das Füllwerk des Gewölbes. Bei dieſen Gewölben, welche zur Ueberdeckung lang geſtreckter Räume dienen können, fehlen die Kreuzrippen und meiſtens auch die Gurtrippen, ſo daſs eine Eintheilung des zu überwölbenden Raumes in Joche häufig fortfällt. Die Widerlager dieſer Gewölbe ſind bei kleineren Gewölbefeldern einzelne Pfeiler, bei längeren ebenfalls Pfeiler oder beſonders an den langen Umfangswänden angebrachte Stützkörper. Im letzteren Falle entſpricht der Querſchnitt dieſer Gewölbe häufig der Form eines Tonnengewölbes mit Stichkappen. Sie unterſcheiden ſich aber in bemerkbarer Weiſe von ſolchen Tonnengewölben durch die ſelbſtändige Rippenbildung, durch die beſondere Wölbung der Kappen, welche in ihrer Laibung mit Buſung verſehen, einer Tonnengewölbfläche nicht angehören und durch ihre eigenartige Geſtaltung, welche nicht von der Querſchnittsform des Gewölbes, ſondern von der Form eines beſtimmt angenommenen Rippenbogens abhängig gemacht wird.

Fig. 481.

Die Rippen ſolcher reich gegliederter Netzgewölbe werden in ihrer Geſammtheit *Reihungen* genannt, eine Bezeichnung, welche auch wohl bei vielſtrahligen Sterngewölben eintritt. Doch laſſen ſich bei dieſen Reihungen wiederum Hauptrippen, Zwiſchen-, Neben- und Scheitelrippen u. ſ. w. unterſcheiden. Die Kappenfelder heiſsen *Maſchen*, wenn ihre Grundriſsprojection rautenförmig erſcheint.

Fig. 482.



Das Austragen der bei dieſen Gewölben in Frage kommenden Bogenlinien kann z. B. bei dem in Fig. 481 im Grundriſs dargeſtellten Netzgewölbe ganz in dem in Art. 287 (S. 417) angegebenen Sinne erfolgen. Bei einem lang geſtreckten Gewölbfelde, wie in Fig. 482, wird eine längſte, von Umfangswand zu Umfangswand ſchräg ziehende Rippe als Principalbogen angenommen. Die Form dieſes grundlegenden Bogens kann ein Halbkreis, ein Spitzbogen, ein Korbbogen u. ſ. f. ſein. Dieſe Bogenform dient als Leitlinie für die Erzeugung der Bogenlinien aller übrigen Rippen. Mit

Hilfe gerader wagrechter Linien, welche parallel mit der wagrechten Scheitellinie des Gewölbes am Principalbogen fortgeführt werden können, laffen fich in bekannter Weife und wie es aus der Zeichnung ohne Weiteres erfichtlich ift, die nöthigen Ausmittelungen fchaffen.

Wie nun auch die Grundrifsbildung der Reihungen auftreten foll, immer ift dahin zu fehen, dafs keine Anordnung getroffen wird, welche die Standfähigkeit des meiftens in labilem Gleichgewichtszuftande befindlichen Rippenkörpers an fich fchon ftark beeinträchtigen könnte. Eine Verfpannung der Reihungen durch die eingefügten Kappen wird vermöge der ihnen zu ertheilenden Bufung allerdings in gewiffem Grade bewirkt.

3) Gothifche Kreuzkappengewölbe.

290. Geftaltung.

Liegen die Scheitel der Kreuz- und Randbogen bei einem einfachen gothifchen Kreuzgewölbe im Vergleich mit ihren Spannweiten in geringer Höhe über der wagrechten Kämpferebene, fo entfteht das Kreuzkappengewölbe oder das flache Kreuzgewölbe. Kreuz- und Randbogen können als flache Kreisbogen oder als flache Spitzbogen (Knickbogen) ausgebildet werden. Die Kappen, welche auch bei diefen Gewölben Füllungen zwifchen den tragenden Rippenkörpern find, können in ihren Laibungen Kugelflächen oder fphäroidifchen Flächen, feltener cylindrifchen Flächen angehören.

Fig. 483.

Für die Geftaltung diefer Gewölbe können die bei der Bildung des einfachen gothifchen Kreuzgewölbes gegebenen Gefetze gleichfalls befolgt werden.

Für das rechteckige Gewölbfeld *a b c d* (Fig. 483) möge die Bogenlinie der Kreuzrippe *a c* ein flacher Kreisbogen mit dem Mittelpunkt m_1, dem Halbmeffer $m_1 a_1$ und der Pfeilhöhe $e_1 s_1$ fein. Die durch m_1 parallel zur Kämpferebene gelegte Mittelpunktsebene *G* heifse die Grundebene. Die Randbogen über *a b* und *a d* mögen flache Spitzbogen fein, welche, hier z. B. mit dem-

felben Halbmeffer $m_1 a_1$ des Kreuzbogens befchrieben, ihre Mittelpunkte wie f, g in der Grundebene G befitzen follen.

Hierdurch find bereits die fämmtlichen Bogen des Rippenwerkes beftimmt. Sollen die Kappen nach reinen Kugelflächen gewölbt werden, fo find die Mittelpunkte derfelben in der Grundebene aufzufuchen. Für die Kappe $a s k$ wird offenbar nach den früher gemachten Mittheilungen der Punkt h, für die Kappe $a s l$ dagegen der Punkt i der zugehörige Mittelpunkt. Ein mit dem Halbmeffer $h a$ um h befchriebener Kreisbogen $a p$ gehört einem in der Kämpferebene E gelegenen Parallelkreife der Kugelfläche der Kappe $a s k$ an, während der mit dem Halbmeffer $i a$ um i befchriebene Kreisbogen $a q$ einem Parallelkreife der Kugelfläche der Kappe $a s l$ zukommt. Um die Scheitellinie über $l s$ zu erhalten, ift der Punkt i nach n auf G und der Punkt q nach q_1 auf E zu projiciren und fodann um n mit dem Halbmeffer $n q_1$ der Kreisbogen $q_1 t$ zu fchlagen. Das Stück $r t$ deffelben ift die Scheitellinie über $l s$. In ähnlicher Weife wird $u v$ als Scheitellinie über $k s$ mit Benutzung der Projectionen h, o und p_1, p gefunden.

Hiernach ift die Ausmittelung der Hauptbeftandtheile eines flachen Kreuzgewölbes, fo lange die Mittelpunkte der Rand- und Kreuzbogen in einer und derfelben Grundebene liegen, äufserft einfach, auch felbft dann noch, wenn diefe Bogen mit ungleich grofsen Halbmeffern befchrieben find. Liegen die Mittelpunkte der Bogen nicht in einer und derfelben Grundebene, fo hat das Austragen der Bogen felbft an fich keine Schwierigkeit; nur find dann die Laibungen der mit Bufung zu verfehenden Kappen nicht mehr reine Kugelflächen. Die Scheitellinien derfelben find vielmehr nach der befonderen Geftaltung der fphäroidifchen Flächen zu beftimmen.

Das Rippen- und Kappengebilde für ein flaches Sterngewölbe würde man gleichfalls nach den angegebenen Grundlagen fchaffen können.

Da die flachen Kreuz-, bezw. Sterngewölbe eine geringe Conftructionshöhe erfordern, fo ift ihre Verwendung im Bauwefen in manchen Fällen vortheilhaft. Sie liefern eine anfprechende Deckenbildung, welche einer mehr oder weniger reichen Ausftattung fähig ift.

4) Steigende gothifche Kreuzgewölbe.

291. Geftaltung.

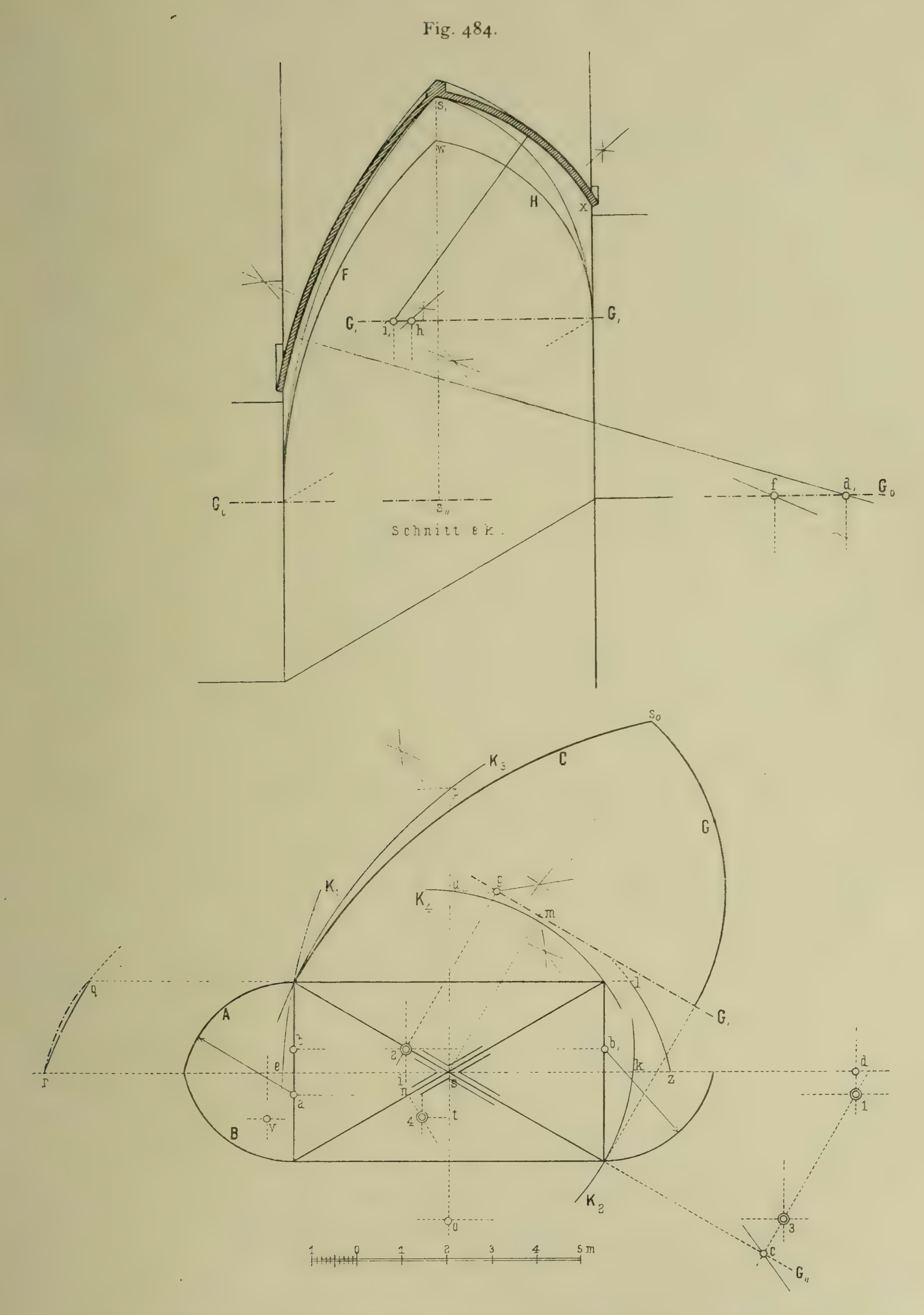
Die Kämpferebene eines fteigenden Kreuzgewölbes ift eine geneigte Ebene. Hierdurch wird eine verfchiedene Höhenlage der Stützpunkte der Kreuz- und Randbogen bedingt und damit im Zufammenhange ftehend die Form diefer Bogen beeinflufft.

Die Kreuzbogen beftehen bei fpitzbogigen Wölblinien im Allgemeinen aus zwei mit verfchiedenen Halbmeffern befchriebenen Kreisbogen, deren Mittelpunkte in zwei über einander liegenden wagrechten Grundebenen anzunehmen find. Der Abftand diefer Grundebenen entfpricht bei Spitzbogen, deren Tangenten an den Kämpferpunkten lothrecht find, ftets der Höhe der geneigten Kämpferebene. Diefer Abftand wird auch paffend für Knickbogen beibehalten. Die Randbogen über der anfteigenden Seitenlinie diefer Ebene find gleichfalls bei Spitzbogenform aus Kreisbogenftücken zufammengefetzt, welche wiederum mit verfchieden grofsen Halbmeffern gefchlagen werden. Die Mittelpunkte derfelben liegen je für fich getrennt in den beiden bezeichneten Grundebenen.

Die Randbogen über der unteren und oberen wagrechten Seitenlinie der Kämpferebene find dagegen in gewöhnlicher Weife als Spitzbogen mit gleichen Halbmeffern zu fchlagen. Die Mittelpunkte ihrer Schenkel liegen in der unteren, bezw. oberen Grundebene.

Das Austragen der Bogen und der von ihnen begrenzten Kappenftücke kann nach denfelben Grundlagen erfolgen, welche beim einfachen gothifchen Kreuzgewölbe gegeben find.

Fig. 484.



In Fig. 484 find diefe Austragungen für ein fteigendes Kreuzgewölbe über einem rechteckigen Gewölbefelde vorgenommen.

In der Darftellung des Schnittes *e k* find G_0 und $G_{,}$ die Spuren der bezeichneten beiden Grundebenen. In der Grundrifsebene ift der Kreuzbogen mit den Schenkeln *C*, *G* niedergelegt. Die parallelen Geraden $G_{,,}$ und $G_{,}$ beftimmen hier die Lage der Spuren jener beiden Grundebenen. Die Höhe des

Gewölbes fei vorgefchrieben und als $s s_0 = s_{,,} s_,$ aufgetragen. Hiernach ergiebt fich bei lothrechten Tangenten in den Fufspunkten fämmtlicher Kreuz- und Randbogen fofort in c auf $G_{,,}$ der Mittelpunkt des Schenkels C, in g auf $G_,$ der Mittelpunkt des Schenkels G des Kreuzbogens, während f auf G_0 und h auf $G_,$ in der Aufrifsprojection die Mittelpunkte der Schenkel F und H des grofsen Randbogens mit der angenommenen Höhe $s_{,,} w$ werden. Die Mittelpunkte a, b, bezw. b_1 der Randbogen für die beiden fchmalen, oberen und unteren Seiten können je nach der zu wählenden Form des Spitzbogens ohne Weiteres angenommen werden.

Die Kappenflächen können wiederum als Kugelflächen behandelt werden. Die Kugelfläche zwifchen dem Schenkel A des Randbogens der unteren fchmalen Rechtecksfeite und dem Schenkel C des Kreuzbogens erhebt fich über der Grundebene $G_{,,}$. Der Mittelpunkt 1 derfelben ift der Schnitt der in c auf $G_{,,}$ und in a auf $a b$ errichteten Lothe. $K_1 e$ ift ein Stück ihres gröfsten Kreifes, und folglich wird d der Mittelpunkt der Scheitellinie über $e s$ in der lothrechten Ebene $e d$. Dem Punkte d entfpricht der Punkt d_1 im Schnitte $e k$. Ein um d_1 mit dem Halbmeffer $d e$, welcher auch gleich $d_1 s_1$ fein mufs, befchriebener Kreisbogen liefert die Scheitellinie. Für die Kugel- oder Kappenfläche zwifchen dem um b_1 gefchlagenen Schenkel des oberen Randbogens und dem antretenden Schenkel G des Kreuzbogens wird der Schnitt 2 des Lothes von g auf $G_,$ mit dem in b_1 auf der zugehörigen Seitenlinie des Gewölbefeldes errichteten Lothe der Mittelpunkt. Diefe Kugelfläche erhebt fich über der Grundebene $G_,$. $K_2 k$ ift ein Theil ihres gröfsten Kreifes. Der Mittelpunkt der Scheitellinie über $k s$ ift der Fufspunkt i des Lothes $z i$ auf $e k$; ihr Halbmeffer ift gleich $i k$.

Hiernach ift der im Schnitte $e k$ um i_1, der Aufrifsprojection von i, mit $i k$ befchriebene Kreisbogen $x s_1$ die gefuchte Scheitellinie.

In gleicher Weife wird, wie aus der Zeichnung zu erfehen, 3 der Mittelpunkt der Kugelfläche zwifchen dem Schenkel F des Randbogens der auffteigenden Seitenlinie des Gewölbefeldes und dem Schenkel C des Kreuzbogens. Die Kugelfläche fteht auf der Grundebene $G_{,,}$. K_3 ift ein Theil ihres gröfsten Kreifes, daher der um o mit dem Halbmeffer $o p$ befchriebene, hier ftark gezeichnete Kreisbogen $q r$ die Scheitellinie der zugehörigen Kappenfläche. Diefe Kappenfläche ift aber mit der Kappenfläche zwifchen dem zweiten Schenkel H des grofsen Randbogens und dem zweiten Schenkel G des Kreuzbogens an der gemeinfchaftlichen Scheitellinie zu vereinigen. Die Kappen- oder Kugelfläche, begrenzt von H und G, erhebt fich aber nicht über der Grundebene $G_{,,}$, fondern über $G_,$. In Folge hiervon kann die vorhin gefundene Scheitellinie $q r$ nicht ohne Weiteres auch derjenigen der Kugelfläche für H und G entfprechen. Beftimmt man zunächft wiederum den Mittelpunkt 4 diefer neuen Kugelfläche als Schnitt des Lothes von n auf $s n$, wobei offenbar $s n$ gleich $m g$ oder gleich $s 2$ ift, und des Lothes von h auf $G_,$ (Schnitt $e k$), fo wird K_4 als Theil des zugehörigen gröfsten Kreifes erhalten.

Hiernach wird t als Mittelpunkt und $t u$ als Halbmeffer der neuen Scheitellinie $l z$ beftimmt. Diefe Scheitellinie ift mit Hilfe des Punktes v, welcher dem Mittelpunkte t auf der Grundebene $G_,$ entfpricht, als punktirte Linie $q r$ neben der früheren Scheitellinie gezeichnet. Hierdurch erkennt man die Abweichung derfelben zwifchen den fonft immer gemeinfchaftlich bleibenden Endpunkten p und q. Diefelbe ift aber meiftens fehr geringfügig, fo dafs bei der Einwölbung der Kappen unter Beibehaltung der Kugelflächen mit den Mittelpunkten 3 und 4, in der Nähe der zu fchaffenden gemeinfchaftlichen Scheitellinie äufserft leicht ein Ausgleichen jener Abweichung getroffen werden kann.

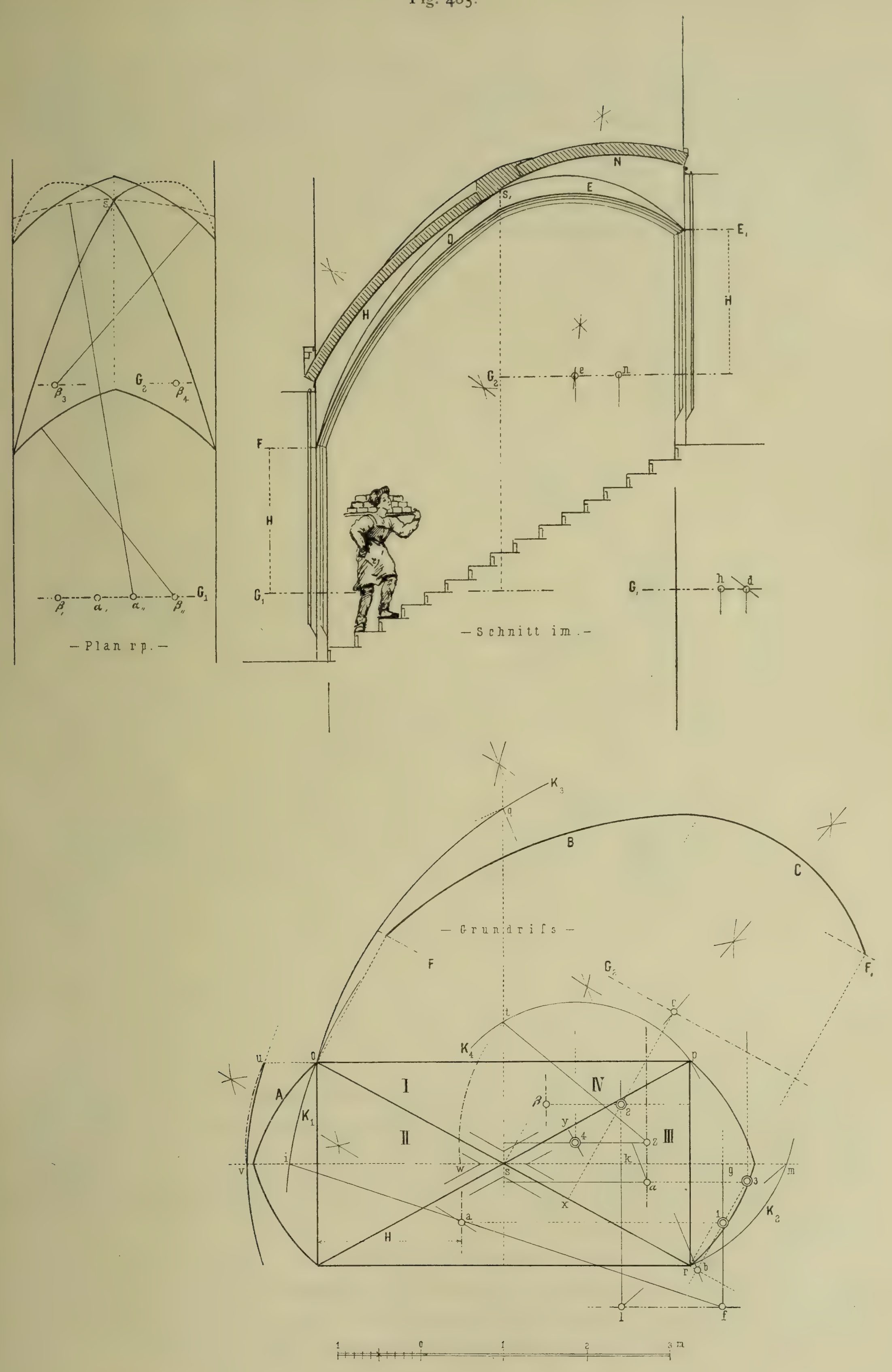
Werden die Rand- und Kreuzbogen eines fteigenden Kreuzgewölbes als Knickbogen mit gröfserer oder geringerer Pfeilhöhe geformt, fo wird auch hierdurch das Wefen der Geftaltung des alsdann mehr oder weniger fich über der geneigten Kämpferebene erhebenden Gewölbes nicht geändert.

Fig. 485 giebt fofort den nöthigen Auffchlufs.

Sind die Grundebenen G_1 und G_2 feft gelegt, find die Bogenlinien B, C für die Kreuzbogen, D, E für die grofsen Randbogen und A für die kleinen Randbogen unter Berückfichtigung der Lage ihrer Mittelpunkte in der ihnen zukommenden Grundebene befchrieben, fo laffen fich alle nöthigen Ausmittelungen unter Benutzung der foeben und ferner in Art. 290 (S. 421) beim flachen Kreuzgewölbe gegebenen Erörterungen für das ganze Gewölbe bewirken.

Ein genaues Verfolgen der in der Zeichnung noch näher zu erfehenden Handhabungen, welche die Geftaltung des behandelten Gewölbes deutlich erkennen laffen, führt ohne Schwierigkeit zum Ziele.

Fig. 485.



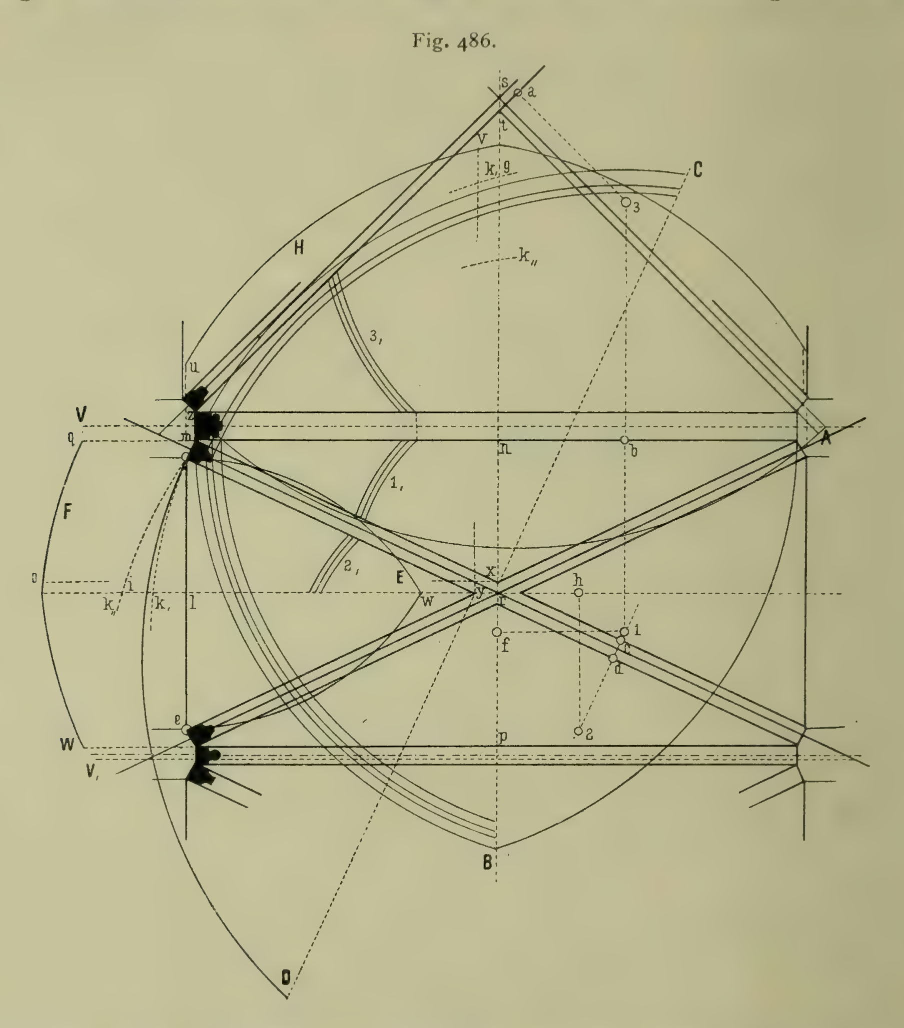
5) Widerlager der gothifchen Kreuzgewölbe.

292. Allgemeines.

Das Uebertragen des Gewölbfchubes und der vom Eigengewicht nebft einer gröfseren oder geringeren fremden Belaftung herrührenden Gefammtlaft auf einzelne Stützen, welche bei den gothifchen Kreuzgewölben als Widerlager vorwiegend in Betracht kommen, bedingt eine befondere Geftaltung der Widerlagskörper.

Für diefe Geftaltung ift der Grundrifs der Gewölbanfänge von gröfster Bedeutung. Beim Zufammentreten der Kreuz-, Rand- oder Zwifchenbogen, bezw. ihrer

Fig. 486.



Rippenkörper mufs thunlichft ein regelmäfsiges Auseinanderwachfen derfelben oberhalb des Gewölbfufses angeftrebt werden. Der Gewölbfufs felbft foll, ohne eine übermäfsig grofse Fläche einzunehmen, einen Querfchnitt des Widerlagskörpers nach Form und Gröfse entftehen laffen, welcher unter Berückfichtigung der fämmtlichen auf die Stütze gelangenden Kräfte der ficheren Standfähigkeit des Gewölbfyftems entfpricht.

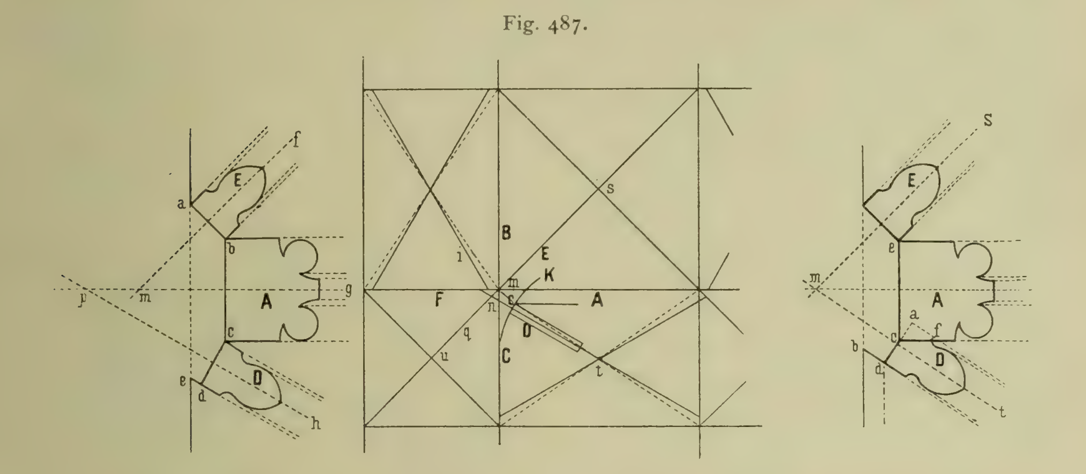
Bei an einander gereihten Gewölben (Fig. 486) ift zu bemerken, dafs im Allgemeinen die zufammentretenden Rippen *A*, *B*, *C*, *D* nicht immer einen und denfelben Querfchnitt befitzen, dafs häufig ihre Bogenlinien nicht mit gleichem Halbmeffer gefchlagen find, und dafs die wagrechten Projectionen ihrer Mittellinien recht oft

beim Zufammentreten von verfchiedenartig im Grundrifs angeordneten Gewölbefeldern ungleich grofse Winkel zwifchen fich einfchliefsen oder fich auch nicht einmal in einem gemeinfchaftlichen Punkte der Kämpferebene treffen. Alle diefe Umftände beeinfluffen die Entwickelung des Querfchnittes der Widerlagskörper in merkbarem Grade, auch felbft dann, wenn, wie aus der Zeichnung fofort entnommen werden kann, die Geftaltung der Laibungen der Wölbkappen als Kugelflächen mit den Mittelpunkten *1, 2*, bezw. *3* und den gröfsten Kreifen $k_{,}$, $k_{,,}$ u. f. f. nach dem in Art. 237 (S. 348) Gefagten bewirkt wird.

293. Querfchnittsbildung für einen Gewölbpfeiler.

Zur Erklärung des Ganges, welcher für die Bildung des Querfchnittes eines Gewölbpfeilers eingefchlagen werden kann, foll nach Fig. 487 ein Zwifchenpfeiler *m* befprochen werden, welcher als Stütze für acht Rippenkörper von vier zufammengelegten Gewölben mit theils quadratifchem, theils rechteckigem Grundriffe dient.

Fig. 487.

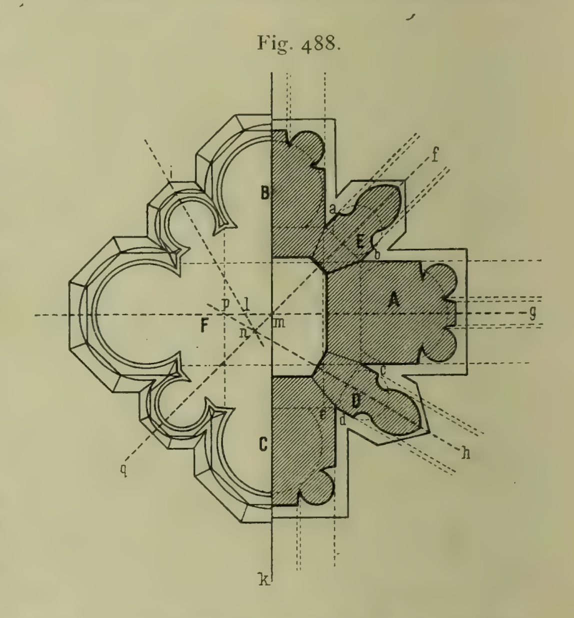


Behält man entfprechend der Lage und der Anordnung der Gewölbefelder die Diagonalen derfelben als Grundrifsprojection der Mittellinien der Kreuzbogen bei, fo fchneiden fich diefe im gemeinfchaftlichen Eckpunkte *m* der Gewölbefelder, welcher zugleich der lothrechten Axe des Zwifchenpfeilers angehört. Ordnet man nach diefen Mittellinien, unter Hinzunahme der Mittellinien der Gurtrippen *A*, *B*, *F* und *C*, durch Einführen der Querprofile *A* der Gurtrippe und *D*, *E* der Kreuzrippen, welche hier kleiner als *A* genommen find, den Grundrifs des für diefe Rippen erforderlichen Gewölbfufses, fo ergiebt fich meiftens für die Rippe *D* ein unfchönes Einfchneiden bei *af* am Rippenkörper *A*. Sollte zur Vermeidung diefes Einfchneidens der Punkt *a* nach *f* verlegt werden, fo würde der grofse Uebelftand des weiteren Vorrückens des Punktes *d* von der Seitenlinie des Gurtbogens *C* fich geltend machen, fo dafs auch hierbei ein gut gegliedertes Abzweigen der Rippe *C* von der Rippe *A* nicht entftände. Durch eine Aenderung der Lage der Mittellinie *mt* der Rippe *C* kann jedoch eine beffere Abzweigung derfelben erzielt werden. Zur Beftimmung diefer neuen Lage der Mittellinie der Rippe *C* kann man in der folgenden Weife verfahren. Befchreibt man um die als nicht veränderlich geltende wagrechte Projection *t* des Scheitelpunktes des Gewölbes zwifchen *A* und *C* mit dem Halbmeffer *tc* einen Kreisbogen *K*, fo kann man die Breite *ad* der Rippe *D* derart einfügen, dafs *a* nach *c* gelegt und *d* auf den Kreisbogen *K* gefetzt wird. Die von *t* durch den Halbirungspunkt der Breite *cd* geführte Gerade *tn* ift die neue

Mittellinie für die Rippe *D*. Benutzt man diefelbe nunmehr als *ph*, parallel zu *nt*, beim Austragen der Fufsflächen *A*, *E*, *D* der zugehörigen Rippen, fo laffen fich diefe Flächen in ihren vor den Laibungen der Kappen liegenden Gliederungen frei und ohne gegenfeitiges Einfchneiden entwickeln. Allerdings treffen fich die Mittellinien der einzelnen Bogen, zumal auch die neue Mittellinie *i* durch Verlegen entftehen mufs, nicht mehr in einem gemeinfchaftlichen Punkte *m*. Hierdurch entfteht in ftatifcher Beziehung der Uebelftand, dafs die Schübe der einzelnen Bogen unter Umftänden als Kräfte im Raume neben einem refultirenden Gefammtdrucke noch ein den Pfeiler auf Drehung beanfpruchendes Kräftepaar erzeugen. Wie das meiftens nicht fehr grofse Drehmoment diefes Kräftepaares durch eine in geeigneter Weife ausgeführte Ausmauerung der Gewölbzwickel thunlichft aufgehoben werden kann, wird bei der Stabilitäts-Unterfuchung der Pfeiler näher angegeben werden.

Bei der hier getroffenen Anordnung der zufammentretenden Rippen beginnen die Kappen unmittelbar in den in der Kämpferebene liegenden Punkten *a*, *b*, *c*, *d* u. f. f., fo dafs ein einheitliches Emporwachfen der Rippen und Kappen von der gemeinfchaftlichen Kämpferebene aus eintreten kann. Der gegliederte Gewölbanfatz kann nun entweder von einer Säule getragen werden, deren Kapitelle fich in ihrer Kelch- und Deckenplattenbildung der Grundrifsfläche des Gewölbfufses anzupaffen haben; oder derfelbe kann auf einer Stütze ruhen, deren Querfchnitt eine Geftaltung erfährt, welche ihrem Wefen nach in innigem Zufammenhange mit dem gegliederten Gewölbanfatze bleibt. Hierdurch entfteht alsdann der gegliederte Pfeiler.

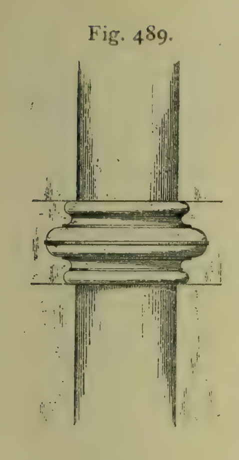
Fig. 488.



Den Ausmittelungen der Fufsflächen der Rippen entfprechend, ift in Fig. 488 die Geftaltung des Querfchnittes eines einfachen gegliederten Pfeilers gegeben. Um für die Rippen eine hinlängliche Auffatzfläche zu fchaffen, ift eine zweckdienliche Grundrifsform der Deckplatte für die Kapitellbildung am Pfeilerkörper, wie rechtsfeitig in der Zeichnung angegeben ift, zu entwerfen.

294.
Eckige Pfeiler mit Dienften.

Zur Ueberführung des gegliederten Gewölbanfatzes nach dem eigentlichen Pfeiler, nur getrennt durch das Pfeiler-Kapitell, dienen befonders am Pfeilerkern angefügte Säulen. Der Querfchnitt derfelben geht meiftens über den Halbkreis hinaus. Die Säulen felbft führen den Namen Dienfte. Ihre Anordnung zeigt die Seite *F* in Fig. 488. Diefelben können fowohl bei gegliederten Pfeilern mit rundem Kern, als auch bei folchen mit eckigem Kern auftreten. Wie das ganze Kapitell den Pfeilerkern mit den Dienften verbindet, wobei jeder Dienft feine befondere Kapitellbildung erhält, fo find auch weiter die Dienfte und der Pfeilerkern durch eine gemeinfchaftliche, im Grundriffe vieleckig geftaltete Bafis, eine fog. Fufsung, vereinigt, auf welcher für jeden einzelnen Dienft wiederum eine befondere Bafis angeordnet ift. Meiftens erhalten die Gurt-, bezw. Scheidebogen Dienfte mit

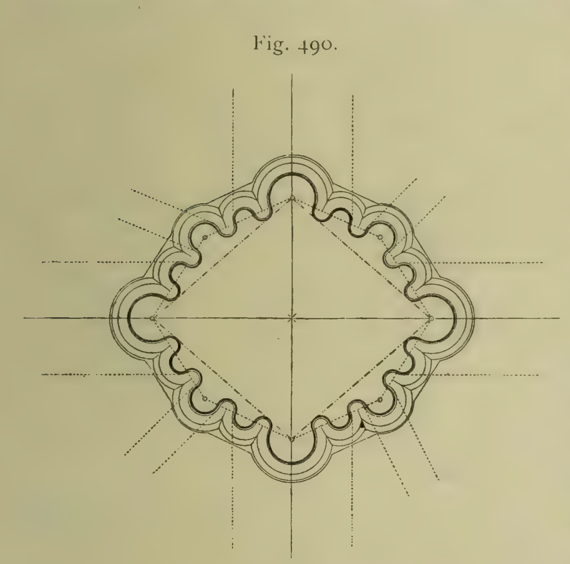

Fig. 489.

gröfserem Durchmeffer als die Diagonal- oder Kreuzrippen. Die kräftigeren Dienfte heifsen alte, die fchwächeren dagegen junge Dienfte.

Die in charakteriftifcher Weife bei diefen gegliederten Pfeilern auftretenden Dienfte werden entweder bei jeder Pfeilerfchicht mit angearbeitet, oder fie werden vielfach als felbftändige cylindrifche Stäbe behandelt und in dichter Berührung an den Pfeiler gelehnt oder felbft fo angeordnet, dafs fie den Pfeilerkern in geringer Entfernung frei als Säulchen umftehen.

Die felbftändigen Dienfte werden bei gröfserer Höhe aufser ihrer Verbindung mit der Bafis und dem Kapitell des Pfeilers oft noch mit dem Pfeilerkern durch fog. Ringe, Bunde oder Gürtel (Fig. 489) in Zufammenhang gebracht. Die Stärke und auch die Anzahl der Dienfte richtet fich nach der Querfchnittsentwickelung der Gurt-, Scheide- und Kreuzrippen, welchen der gegliederte Pfeiler als Stütze zu dienen hat. Da die Gurt- und Scheidebogen häufig in ihrem vor dem eigentlichen Gewölbe liegenden Querfchnittstheile der Breite und Höhe nach eine ausgedehntere Entwickelung erfahren, als die Kreuzrippen (Fig. 490), fo verlangen erftere an fich ftärkere Dienfte als letztere. Hierbei kann die Bildung des Bogenanfatzes auch felbft eine Verbindung der Gurt-, bezw. Scheidebogen mit den Kreuzrippen im Gefolge haben, welche für die Kreuzrippen keine befonderen Dienfte bedingt. Diefe Rippen werden dann wefentlich durch den eigentlichen Kern des Pfeilers geftützt.

Fig. 490.

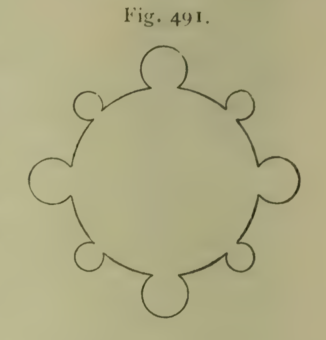


Ift der Querfchnitt der Gurt- oder Scheidebogen in fog. Ringen fymmetrifch ftaffelförmig nach oben verbreitert geftaltet, fo erhält auch wohl jede Staffel für fich einen Dienft. So würden für einen Querfchnitt von zwei Ringen drei Dienfte eingeführt werden können, von welchen der Dienft des unteren breiteren Ringes ftärker fein foll, als die daneben ftehenden Dienfte der beiden fchmaleren Staffeln des oberen Ringes. Die Beobachtung der Querfchnittsbildung der Rippen und des danach zu fchaffenden Grundriffes des Gewölbanfängers bedingt demnach die Zahl, die Stellung und die Abmeffung der Stärke der Dienfte des gegliederten Pfeilers und damit weiter die Grundform der gefammten Pfeilerbildung. In erfter Linie tritt für das Feftlegen diefer Grundform alfo die Bedingung auf, den gegliederten Pfeiler in zweckmäfsiger Weife als Stützconftruction herzurichten, wenn dabei auch eine völlig regelmäfsige Geftaltung der Grundform aufgegeben werden mufs. Ob die erwähnte Bedingung mit einer regelmäfsig gebildeten Grundform des Pfeilers in Einklang zu bringen ift, mufs in jedem einzelnen Falle einer befonderen Ueberlegung vorbehalten bleiben.

Um die Grundform des Pfeilers möglichft lebendig zu geftalten, find die einzelnen

Dienfte häufig durch in den Kern des Pfeilers tretende Hohlkehlen verbunden, oder die ganze Grundform ift durch Anwendung mehrfacher Profilirungen, welche auch felbft eine Umwandelung des Kreisquerfchnittes der Dienfte im Gefolge hat, äufserft reich und bewegt gebildet. Die Werke der gothifchen Baukunft bieten hierfür eine grofse Anzahl von Beifpielen.

Fig. 491.



295.
Rundpfeiler mit Dienften.

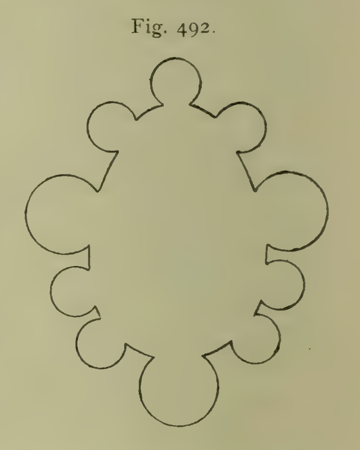
Wird an Stelle der einfachen Säule eine folche mit angefügten Dienften zum Stützen der Bogenanfänge des Gewölbes benutzt, fo entfteht der Rundpfeiler mit Dienften.

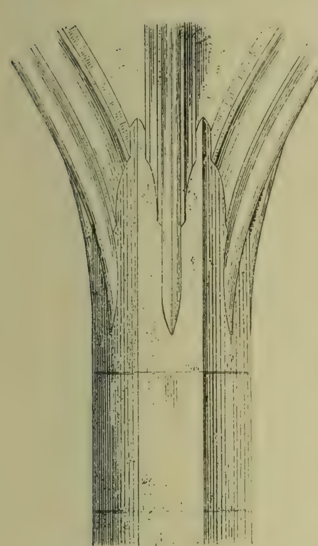
Der eigentliche Kern diefer häufig gebrauchten Pfeiler ift in feinem Querfchnitte durch einen Kreis (Fig. 491) oder durch eine fonftige in fich zurückkehrende krumme Linie (Fig. 492) begrenzt. Die Beftimmung der Zahl, Stellung und Stärke der Dienfte, fo wie das Feftlegen der Form des Kernes diefer mehr oder weniger reich gegliederten Rundpfeiler ift nach den beim eckigen Pfeiler mit Dienften gegebenen Erörterungen zu treffen.

296.
Ungegliederte Pfeiler.

Die einfache Rundfäule oder der einfache, im Querfchnitt quadratifch, rechteckig oder regelmäfsig vielfeitig geformte Pfeiler mit entfprechender Bildung des Kapitells und der Fufsung (Bafis) ift, an und für fich als Stütze des Bogenanfängers betrachtet, die Grundgeftalt des ungegliederten Pfeilers. Geftattet die Grundrifsform des Anfängers vom Rippenkörper des Gewölbes unter fachgemäfsem Zufammenziehen und Anordnen der Rippenprofile ein ungezwungenes Auffetzen auf die geeignet umgrenzte Deckplatte des hiernach entwickelten Kapitells der Säule oder des Pfeilers, fo wird in diefer einfachen Stütze unter Beobachtung ihrer geeigneten Stärke ein fchätzenswerthes Conftructionsglied erhalten. Erfordern gröfsere Grundrifsflächen der Bogenanfätze eine wefentliche Vergröfserung des Durchmeffers der Säule, bezw. des Pfeilers, fo wird, wenn ein engeres Zufammenziehen der Rippenprofile nicht möglich ift, ein weit ausladendes Kapitell und unter Umftänden eine übertriebene Stärke der Stütze felbft fich geltend machen. Wird auch zur Vermeidung der grofsen Anhäufung von Material in der Stütze und der Befeitigung der hierdurch erzeugten ungünftigen Erfcheinung derfelben die Bildung des gegliederten Pfeilers mit Dienften angebahnt, fo ift doch häufig und namentlich bei den ungegliederten Pfeilern der Spätzeit der Gothik eine Umwandelung der Stützen der Bogenanfänge vorgenommen, wobei fowohl auf das Einfügen eines Kapitells, als auch auf eine Verbindung mit Dienften Verzicht geleiftet wurde. Hierbei treten die verfchiedenften Anordnungen auf. Die Rippen fetzen fich, aus den Mantelflächen der Stützen abzweigend, unmittelbar an den Körper derfelben, oder fie werden mittelbar durch am Stützkörper vorhandene confoleartige Auskragungen, bezw. durch kurze auf Auskragungen ftehende Dienfte mit oder ohne Kapitell u. f. f. getragen. Dabei durchfchneiden (Fig. 493) die Mantelflächen des ungegliederten Pfeilers nicht allein die Seitenflächen der Rippenkörper, fondern auch vielfach die Gewölbflächen der Kappen, fo dafs im Allgemeinen eine mehr nüchterne Anordnung entfteht, wenn nicht in gefchickter und künftlerifcher

Fig. 492.




Fig. 493.

Weife für eine lebendige Verwebung des Bogenanfatzes mit dem Stützkörper geforgt wird.

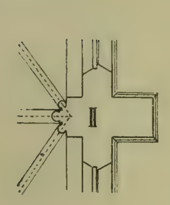
297. Wandpfeiler.

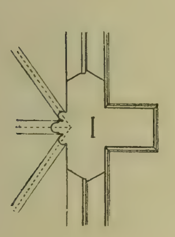
Die Wandpfeiler find im Wefentlichen Theile der frei ftehenden Pfeiler, welche fo weit in Benutzung treten, dafs eine fichere Auflagerung der Bogenanfätze an den Umfangsmauern des überwölbten Raumes erreicht wird. Ihre Anordnung und Grundform richten fich alfo vorzugsweife nach der Durchbildung der gegliederten oder ungegliederten Pfeiler, fo weit die Zahl der über den Wandpfeilern vorhandenen Theile des Bogenanfatzes dabei mafsgebend wird. Die Anordnung der Wandpfeiler kann in verfchiedener Weife getroffen werden. Diefelben reichen entweder vom Fufsboden bis zum Bogenanfatz, find dabei mit Dienften verfehen, bezw. treten ohne Dienfte als Pfeilervorlagen mit geringerem Vorfprunge auf, welchem unter dem Bogenanfatze nur kurze Dienfte auf Auskragungen angefügt find, oder diefelben endigen in geeigneter Höhe über dem Fufsboden und find hier als befondere Auskragungen gekennzeichnet. In jedem befonderen Falle ift die Durchbildung der Wandpfeiler in harmonifcher Uebereinftimmung mit den frei ftehenden Pfeilern anzuftreben.

298. Strebepfeiler.

Im Stützenfyftem des gothifchen Kreuzgewölbes nehmen die Strebepfeiler als conftructive Bauglieder einen hervorragenden Rang ein. Die auf einzelne Stützpunkte der Umfangsmauern der Gewölbanlage übertragenen Gewölbfchübe erfordern ein befonderes kräftiges Widerlager, welches in feiner ganzen Stärke für die zwifchen den einzelnen Stützpunkten liegende Wand nicht nöthig wird, fondern vorzugsweife als ein mit der Wand in Verbindung ftehender Mauerkörper als Pfeiler, Strebepfeiler genannt, anzuordnen ift.

Fig. 494.





Diefe als ftützende Mauerkörper herzurichtenden Strebepfeiler (Fig. 494) liegen in der Regel, wie in *I*, aufsen an der Umfangsmauer; fie können aber, wie bei *II*, auch theils innerhalb der Wand oder, wie bei *III*, ganz innerhalb des Raumes angebracht werden. In den gewöhnlichen Fällen ftehen diefelben rechtwinkelig zur Umfangsmauer; bei Mauerecken (Fig. 495) entweder in der Richtung jeder Mauerflucht oder allein in der Richtung der Halbirungslinie des inneren Winkels der zufammentretenden Mauern. Für die Geftaltung des Aufriffes der Strebepfeiler liefsen fich, unter ausfchliefslicher Berückfichtigung der günftigften Stabilitätsverhältniffe und des damit verbundenen geringften Materialaufwandes, mannigfache Gefichtspunkte feft ftellen. Die gleichzeitige und nicht minder bedeutungsvolle Rückficht auf die architektonifche Ausbildung folcher Stützkörper bringen jene Gefichtspunkte jedoch in engere Grenzen. Im Befonderen find die Querfchnitts- und die Höhenentwickelungen der Strebepfeiler unter Beobachtung einer möglichft günftig im Inneren des Stützkörpers verlaufenden Mittellinie des Druckes vorzunehmen, welche fich als Fortfetzung des auf den Strebepfeiler gelangenden refultirenden Gewölbfchubes in Vereinigung mit den Gewichts-

antheilen des Mauerwerkes dieſer Widerlagskörper ermitteln läſſt. Im Allgemeinen wird hiernach eine von oben nach unten durch Abſätze verbreiterte Aufriſsform der Strebepfeiler geltend gemacht, deren weitere architektoniſche Behandlung im Einklange mit den ſtatiſchen Anforderungen in mannigfacher Art erfolgen kann. Einfache Abſchrägungen, Abdeckungen der Abſätze durch Geſimsſtücke, durch ſchräge Deckplatten, ſo wie die Anordnung von Waſſerſchlägen, von ſatteldachartigen Ueberdeckungen, oder das Einführen reichen Schmuckes durch Fialen an der oberen Endigung oder an einzelnen Abſätzen des Strebepfeilers, das Anbringen von Figuren u. ſ. f. bieten hierfür, wie die Bauwerke des gothiſchen Stils in ausgiebiger Weiſe zeigen, eine Fülle von Hilfsmitteln dar.

Fig. 495.

Noch iſt für die folgerechte Entwickelung der Strebepfeiler die Höhenlage der Kämpferebene der Bogen der Lichtöffnungen in der zwiſchen den einzelnen Strebepfeilern befindlichen Umfangsmauer in Bezug auf die Kämpferebene der antretenden Gewölbe in Betracht zu ziehen. Liegt die Kämpferebene der Fenſterbogen bedeutend höher als der Gewölbefuſs, wie ſolches bei den Bauwerken der Gothik in Deutſchland und Frankreich in der Regel der Fall iſt, ſo wird hierdurch eine gröſsere Stärke der Strebepfeiler veranlaſſt, als wenn, wie bei der Gothik in Italien ſich zeigt, die Kämpferebenen der Fenſterbogen und Gewölbe gemeinſam ſind. Hierbei iſt die Stärke der Strebepfeiler herabzuſetzen; der Strebepfeiler erſcheint alsdann mehr als eine äuſsere Mauervorlage oder Liſene.

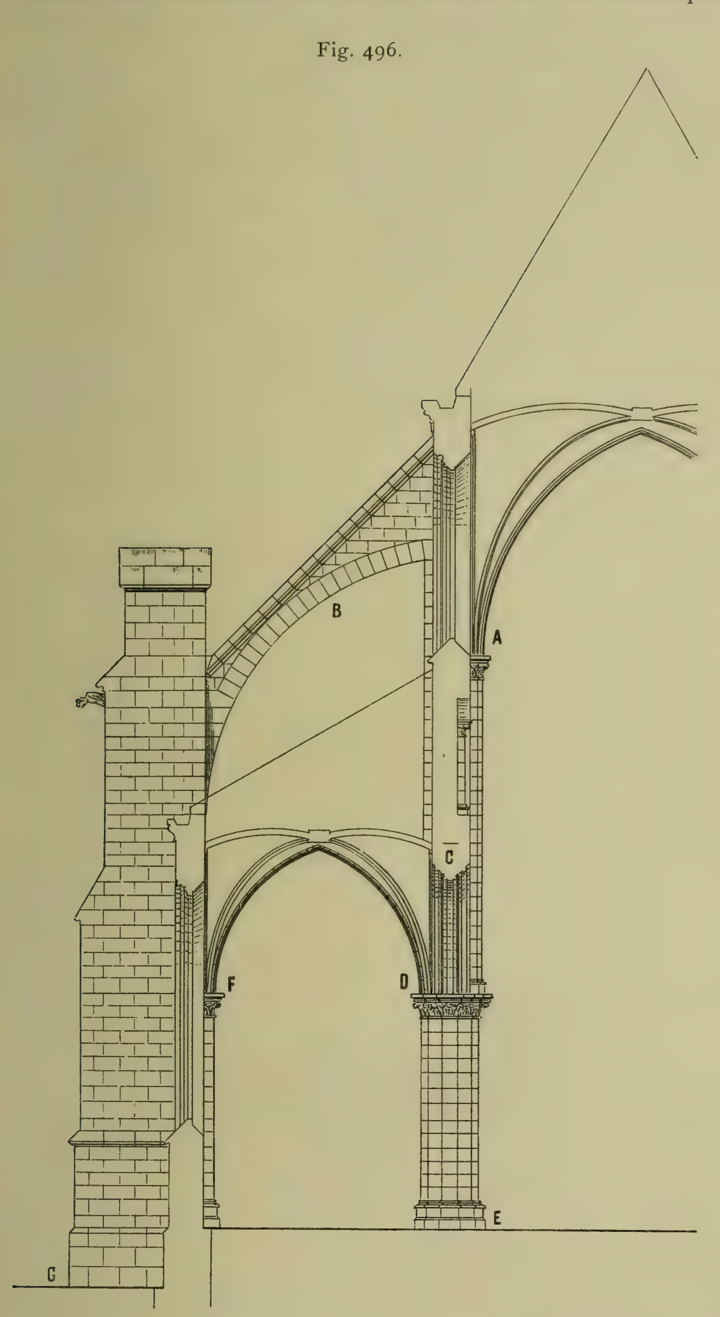
299.
Strebebogen.

Ein bedeutungsvolles Bauglied iſt die bei der Anlage von gothiſchen Kreuzgewölben als wichtiges Strebeſyſtem eingeführte Vereinigung von S t r e b e b o g e n oder S c h w i b b o g e n mit den Strebepfeilern.

Der Aufbau der gewölbten gothiſchen Baſilika forderte, wie in Fig. 496 angegeben, eine ſichere Abſtützung des vom Schube des Gewölbes *A* des Mittelſchiffes beanſpruchten Pfeilers *C*, bezw. *E*, ohne daſs, dieſem Gewölbſchube entſprechend, eine an ſich erhebliche Verſtärkung des Pfeilers vorgenommen werden durfte. Eben ſo beanſpruchte das in ſeiner Kämpferebene *DF* bedeutend tiefer als das Gewölbe des Mittelſchiffes gelegene Gewölbſyſtem der Seitenſchiffe beſondere Stützkörper. Das unter zweckmäſsiger Vergröſserung der Stärke dieſer Stützkörper entſtehende Widerlager geſtattete das Einfügen eines frei über das Gewölbſyſtem der Seiten-

fchiffe und ihrem Dachwerke hinweg ziehenden Bogens *B*, welcher als Strebe dem Gewölbfchube bei *A* Widerftand zu leiften und hierzu am Strebepfeiler *G* fein weiteres Widerlager zu erhalten hatte. Hierdurch wird in vortheilhafter Weife der Schub des Gewölbes des Mittelfchiffes auf die Strebepfeiler der Seitenfchiffe übertragen und damit gleichzeitig eine in Rückficht auf die Stabilität der Zwifchenpfeiler *E* günftig auftretende Conftruction gefchaffen. Wie die Wirkungsweife eines derartigen Strebe- oder Schwibbogens näher beurtheilt und wie eine möglichft günftige Form für feine Wölblinie ermittelt werden kann, wird fpäter bei der Stabilitäts-Unterfuchung deffelben gezeigt werden.

Fig. 496.



Conftruction und Anordnung des Syftems der Strebepfeiler in Verbindung mit der Anlage der Strebebogen beeinflufften als mächtiges Stützengebilde der gothifchen Kreuzgewölbe, wie aus der Betrachtung der einfchlägigen Bauwerke der Gothik fich ergiebt, eine architektonifche Entwickelung des Grundriffes, fo wie des Aufbaues im Inneren und Aeufseren, welche die Schranken, die fich bei der Anlage der fonft bekannten Gewölbe einftellten, zu befeitigen vermochte. Nicht zu verkennen ift, dafs in Folge diefes Conftructionsmittels, wobei oft durch Anwendung von zwei und mehr Strebebogen, welche fich gegen gemeinfchaftliche Strebepfeiler fetzen, der wahre Zweck, die eigentlichen Stützpunkte der gewölbten Decke an den Umfangsmauern gegen nachtheilige Veränderungen zu fchützen, mit einem fo erheblichen Aufwande von Baukörpern erreicht ift, dafs häufig die räumliche Wirkung des Inneren der

Bauanlage gegen das in weit gehender und reichfter Weife gebildete äufsere Conftructionsgerüft zurücktritt.

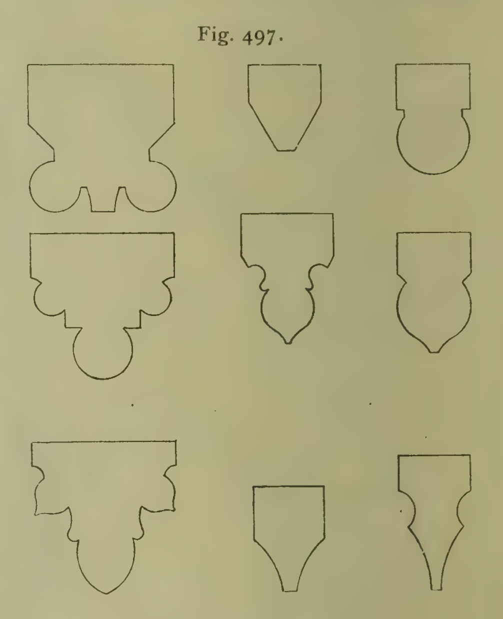
Von rein ftatifchem Gefichtspunkte aus betrachtet, kann in manchen Fällen bei feitlich neben einander gereihten, fymmetrifch geordneten Gewölbanlagen mit verfchieden hoch gelegenen Kämpferebenen *A* und *F* die Verftrebung der Stützpunkte *A* auch ohne Anwendung der Strebebogen *B* vorgenommen werden. Steigt der Mauerkörper *C* nicht zu bedeutend bis zu *A* hinauf, ift der Pfeiler *E* unter Berückfichtigung der von *A* und *D* antretenden Gewölbfchübe an fich einer gewiffenhaften ftatifchen Unterfuchung unterzogen; fo läfft fich durch eine Uebermauerung der Gurte *DF* der Gewölbe des Seitenfchiffes ein unter dem Seitendache verbleibender Mauerkörper, welcher felbft in geeigneter Weife mit einer Oeffnung verfehen werden kann, als günftig wirkende Stütze für das Widerlager *A* herftellen.

6) Rippen der gothifchen Kreuzgewölbe.

300. Rippen.

Die Rippenkörper der gothifchen Kreuzgewölbe haben in erfter Linie das Widerlager für die Gewölbkappen zu liefern. Sie werden an und für fich als fchmale, felbftändig auftretende cylindrifche Gewölbe geftaltet und find, ihrer Aufgabe gemäfs, als tragende Bogen in den gefammten Gewölbkörper einzuführen. Ihrer Selbftändigkeit ift in architektonifcher Beziehung Ausdruck zu geben durch die vor den Gewölbflächen liegenden, entfprechend gegliederten Beftandtheile, Rippenprofile genannt. Der Querfchnitt der Rippen ift in feinen Abmeffungen von der Belaftung abhängig, welche aufser ihrem Eigengewichte durch die von ihnen getragenen Gewölbftücke entfteht; feine Form richtet fich im oberen Theile nach der Bildung der Widerlagsflächen für die Kappen, dem fog. Rückenanfatz, in dem unteren vorfpringenden Theile dagegen nach der gewählten Profilirung. Diefe für die Rippen allgemein geltenden Conftructionspunkte kommen fowohl bei Rippen aus Quadern, als auch aus Backftein in Betracht.

Fig. 497.

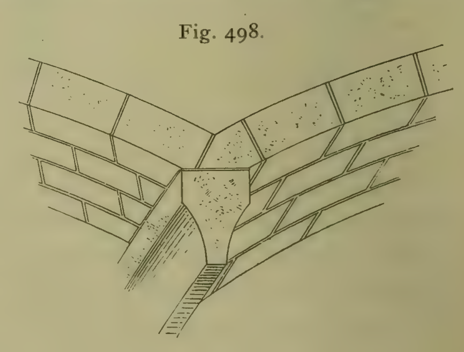


Da die tragenden Rippenbogen vermöge ihrer Beanfpruchung eine Gewölbftärke erhalten müffen, welche die ihnen aus architektonifchen Gründen zu gebende Breite meiftens übertrifft, fo ift der Querfchnitt der Rippen vorwiegend der Höhe nach zu entwickeln.

In Fig. 497 find einige Rippenprofile gegeben.

Sieht man von einer Anordnung in Fig. 498 ab, wonach der Rippenkörper nur ein einfaches Auflager und kein befonders ausgebildetes Widerlager für die Gewölbkappen gewährt, fo ift es geboten, den Rücken-

Fig. 498.



anfatz nach beftimmten Gefetzen zu bilden, welche mit Hilfe der folgenden Mittheilungen unmittelbar aus der Geftaltung der antretenden Kappen und vorzugsweife aus der Art ihrer Einwölbung abgeleitet werden können.

7) Einwölbung der Kappen.

301. Kappen.

Die Einwölbung der Kappen gothifcher Kreuzgewölbe erfolgt hinfichtlich der allgemeinen Anordnung der Wölbfchichten und der Beftimmung ihrer Lager- und Stofsfugenflächen entfprechend der Geftaltung der Laibungsflächen, dem zu verwendenden Material und der Beachtung der fich in Rückficht auf die Stabilität des Wölbkörpers geltend machenden Verhältniffe.

Sieht man vorläufig davon ab, ob Backftein-, Quader- oder geeignetes Bruchfteinmaterial zur Ausführung der Gewölbe benutzt wird; läfft man auch ferner die Prüfung der Stabilität der Wölbkappen noch nicht in den Vordergrund treten; bemerkt man vielmehr, dafs bei den gothifchen Kreuzgewölben weniger cylindrifche Wölbflächen, fondern vorzugsweife Gewölbkappen mit Bufung, alfo reine Kugelflächen oder kugelförmige Flächen mit oder ohne Stelzung als Laibungsflächen in Anwendung kommen: fo kann man die folgenden Arten der Einwölbung diefer Kappen in Betracht ziehen.

α) Bufige Kappen ohne Stelzung.

Sind die Laibungsflächen der Gewölbkappen bufige Flächen ohne Stelzung, fo treten hinfichtlich der Richtungen der Wölbfchichten, unter Berückfichtigung einer thunlichft freihändigen Mauerung diefer Kappen, vorwiegend vier von einander verfchiedene Anordnungen auf, welche fowohl für Gewölbe mit wagrechter Kämpferebene, als auch für anfteigende Gewölbe volle Giltigkeit haben.

302. Erfte Anordnung der Wölbfchichten.

a) Die Wölbfchichten find concentrifche Ringfchichten. In diefem Falle find die Laibungsflächen der Kappen zweckmäfsig als reine Kugelflächen zu geftalten. Die Lagerfugenflächen der Wölbfchichten find alsdann Kegelflächen, deren gemeinfchaftliche Spitze der Mittelpunkt der Kugelfläche der zugehörigen Kappe ift, während die Stofsfugenflächen derfelben in Meridianebenen diefer Kugel liegen.

In Fig. 499 find die Fufsflächen q und r der Kreuzrippen und der Fufs v der Scheiderippe, deren Axen hier unter ungleichen Winkeln und in verfchiedenen Punkten in der Kämpferebene zufammentreten, in gegenfeitiger Durchfchneidung feft gelegt.

Die feitlichen lothrechten Begrenzungsflächen der Rippenkörper enthalten die Widerlagslinien der antretenden Gewölbkappen. Diefe Schnittlinien der Laibungsflächen der Kappen mit den Seitenflächen der Rippen treffen fich je in einem gemeinfchaftlichen Punkte, wovon e, bezw. g als wagrechte Projectionen erfcheinen. Bei unregelmäfsig zufammentretenden Rippenanfätzen liegen diefe Schnitte im Allgemeinen nicht in einer und derfelben wagrechten Ebene. Um trotz ihrer von einander abweichenden Höhenlage für das Kappenftück ems mit der Scheitellinie ms und eben fo für die Kappe goi mit der Scheitellinie oi im Hinblick auf eine einfache und gefetzmäfsige Ausführung der Kappenwölbung reine Kugelflächen einzuführen, ift zunächft für die Widerlagslinie der Laibungsfläche der Kappe ems an der Seitenebene A_1 der Kreuzrippe q der Kreisbogen A mit der gewählten Höhe st um den auf der Geraden es liegenden Mittelpunkt a gefchlagen. Diefer Kreisbogen wird natürlich für die Begrenzungslinien der Profile der Kreuzrippe ebenfalls berückfichtigt. Derfelbe ift aber auch der grundlegende Bogen für die Widerlagslinien an den Seiten B_1, C_1 der Scheiderippe v und an der Seite D_1 der Kreuzrippe r. Die lothrechte Projection des Schnittpunktes der Widerlagslinie A und der näher zu beftimmenden Widerlagslinie an der Scheiderippe v ift der Punkt f, und fomit wird in fe die Höhenlage diefes gemeinfchaftlichen Schnitt-

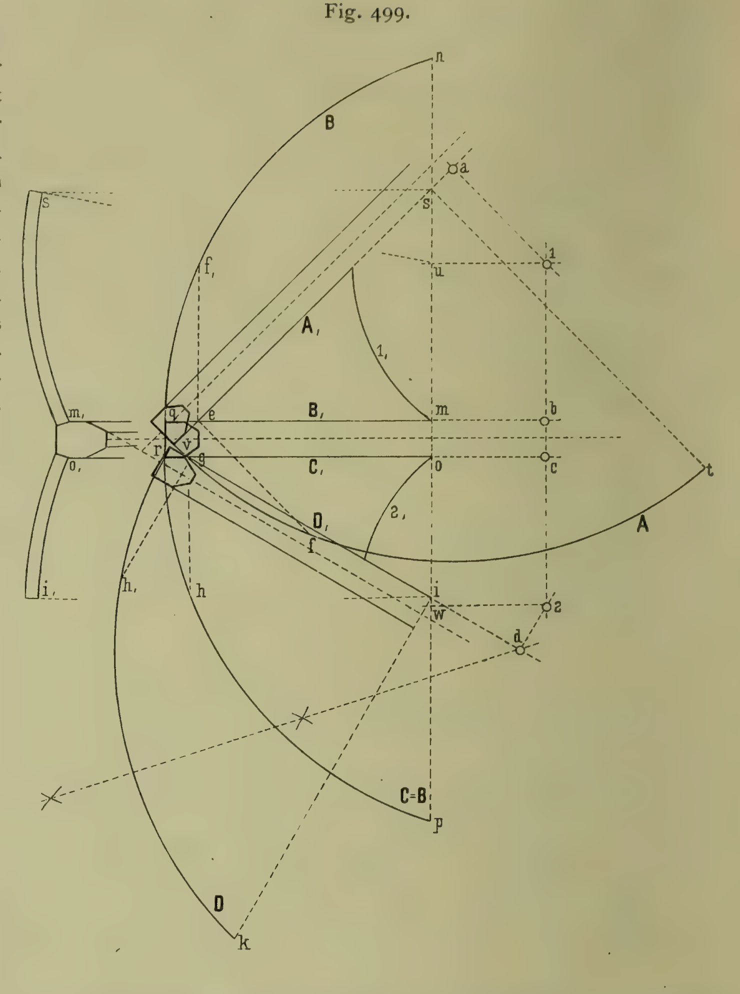
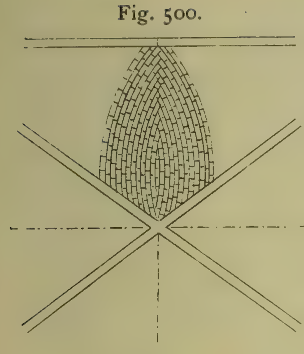


Fig. 499.

punktes über der Kämpferebene erhalten. Errichtet man in e auf eb das Loth ef_1 von der Länge ef, fo ift f_1 ein Punkt des als Widerlagslinie an der Seite B der Scheiderippe zu ermittelnden Kreisbogens. Ein zweiter Punkt n diefer Widerlagslinie ift durch die Kappenhöhe mn an der Rippe v an fich gegeben oder befonders zu wählen. Hier ift mn etwas kleiner als st angenommen. Endlich mufs zur Erzielung einer reinen Kugelfläche, welcher die Wölblinie A und der durch f_1 und n gehende Kreisbogen angehört, der Kugelmittelpunkt in der Grund- oder Kämpferebene, worin der Mittelpunkt a des Kreisbogens A liegt, enthalten fein. Beftimmt man alfo den Mittelpunkt b auf der verlängerten Geraden em für den durch $f_1 n$ gehenden Kreisbogen B, fo ift hierdurch die Widerlagslinie der Kappenlaibung über ems an der Seite B_1 der Scheiderippe gefunden. Die Lothe von a auf ea und von b auf eb liefern in ihrem Schnitte 1 den Mittelpunkt der Kugelfläche der Kappe ems. Ein um 1, z. B. als 1_1, befchriebener Kreisbogen ift die wagrechte Projection der Lagerkante einer Wölbfchicht; dabei aber auch die Projection eines auf die wagrechte Kämpferebene zu beziehenden Parallelkreifes der Kugelfläche, fo dafs alle Punkte folcher Lagerkanten gleiche Höhenlage über der Kämpferebene befitzen.

Die Widerlagslinie an der Seite C_1 der Scheiderippe v mufs ein Bogen C fein, welcher fich mit dem Bogen B vollftändig deckt. Die Höhe op deffelben ift gleich der Höhe mn, und fein Mittelpunkt c liegt in C_1 auf dem Lothe bc auf B. Schlägt man um c den Kreisbogen $C = B$ und beftimmt man in dem Endpunkte h des Lothes gh auf cg die Höhenlage des Schnittpunktes der Widerlagslinien der Kappe goi an den Seiten C_1 und D der begrenzenden Rippen, fo ift nun weiter, unter Benutzung des Lothes gh_1 auf gi mit der Länge gh und des Lothes ik auf gi mit der Länge st, alfo gleich der Höhe des Hauptbogens A, die Lage der beiden Punkte h und k gewonnen, welche dem Kreisbogen D der Widerlagslinie der Kappe goi an der Seite D_1 der Kreuzrippe r angehören. Der zugehörige Mittelpunkt ift in d auf der Geraden D_1 ohne Weiteres zu beftimmen. Nach bekannten Mafsnahmen wird in 2 der Mittelpunkt der Kugelfläche für die Kappe goi gefunden. Der um 2 befchriebene Kreisbogen 2_1 ift wiederum die wagrechte Projection der Lagerfugenkante einer Wölbfchicht. Die Begrenzungslinien der Profile der Rippen v und r folgen den zugehörigen Bogenlinien B, bezw. D. Die Scheitellinie der Kappe ems ift der um u befchriebene Kreisbogen $m\,s_1$, wobei $mm_1 = mn$ und $ss_1 = st$ fein mufs, während die Scheitellinie der Kappe goi der Kreisbogen $o_1 i_1$ mit dem Mittelpunkte w und den Ordinaten $oo_1 = mn = op$ und $ii_1 = st = ik$ ift.

Den ermittelten Kugelflächen entfprechend, find die Wölbfchichten in den zugehörigen Kappen als concentrifche Ringfchichten leicht feft zu legen, und danach find auch die Widerlagsflächen an den Rippenkörpern ohne Schwierigkeiten zu beftimmen.


Fig. 500.

Bei der Anordnung der Wölbung nach concentrifchen Ringfchichten tritt über der Scheitellinie ein Zufammenfchneiden der einzelnen Schichten nach Art des Schwalbenfchwanz-Verbandes ein. Die Gröfse der Halbmeffer der zugehörigen Kugelflächen und die Lage der Mittelpunkte derfelben beeinflufft das Zufammenfügen der einzelnen Wölbfcharen über den Scheitellinien oft in befonderer Weife.

So kann nach Fig. 500 leicht eine linfenförmige Lücke verbleiben, welche der Weiterführung auf Schwalbenfchwanz vereinigter Schichten zuweilen wenig günftig ift. In folchen Fällen ift der verbleibende Spalt durch befonders hergerichtete Steine zu fchliefsen.

Wie beim Zufammenfchneiden der Fufsflächen der Scheiderippen mit den beiden Kreuzrippen der Rippenanfatz unter Verwendung von Werkftücken gebildet werden kann, möge durch Fig. 501 angedeutet werden.

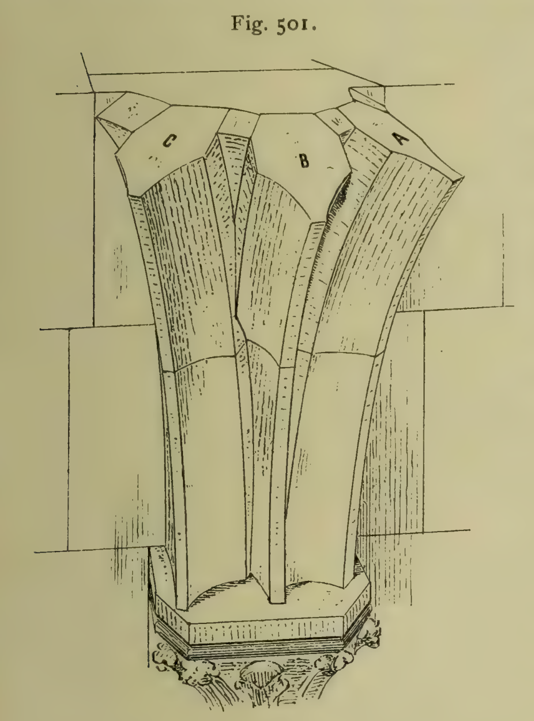


Fig. 501.

Um die fcharfen Schneiden der Wölbfchichten am Fufse der Kappen zu vermeiden, find die Anfätze der Kappen zweckmäfsig am Anfänger der Rippen mit anzuarbeiten. Ueber den Flächen *A*, *B*, *C* des Rippenanfatzes erheben fich ohne Weiteres die einzelnen Rippenftücke frei als felbftändige Rippenkörper, wie die Beftandtheile fchmaler Tonnengewölbe, fo dafs zwifchen denfelben das Einfügen der einzelnen Wölbfchichten nunmehr ohne Einengung vorgenommen werden kann.

Bei fphäroidifchen, mit ftarker Bufung verfehenen Kappen ift die Einwölbung nach Art concentrifcher Ringfchichten, wobei die Lagerfugenkanten je für fich in allen ihren Punkten gleiche Höhe über der Kämpferebene erhalten, wohl möglich, aber weniger am Platze, da hierbei das freihändige Mauern oft fehr erfchwert wird.

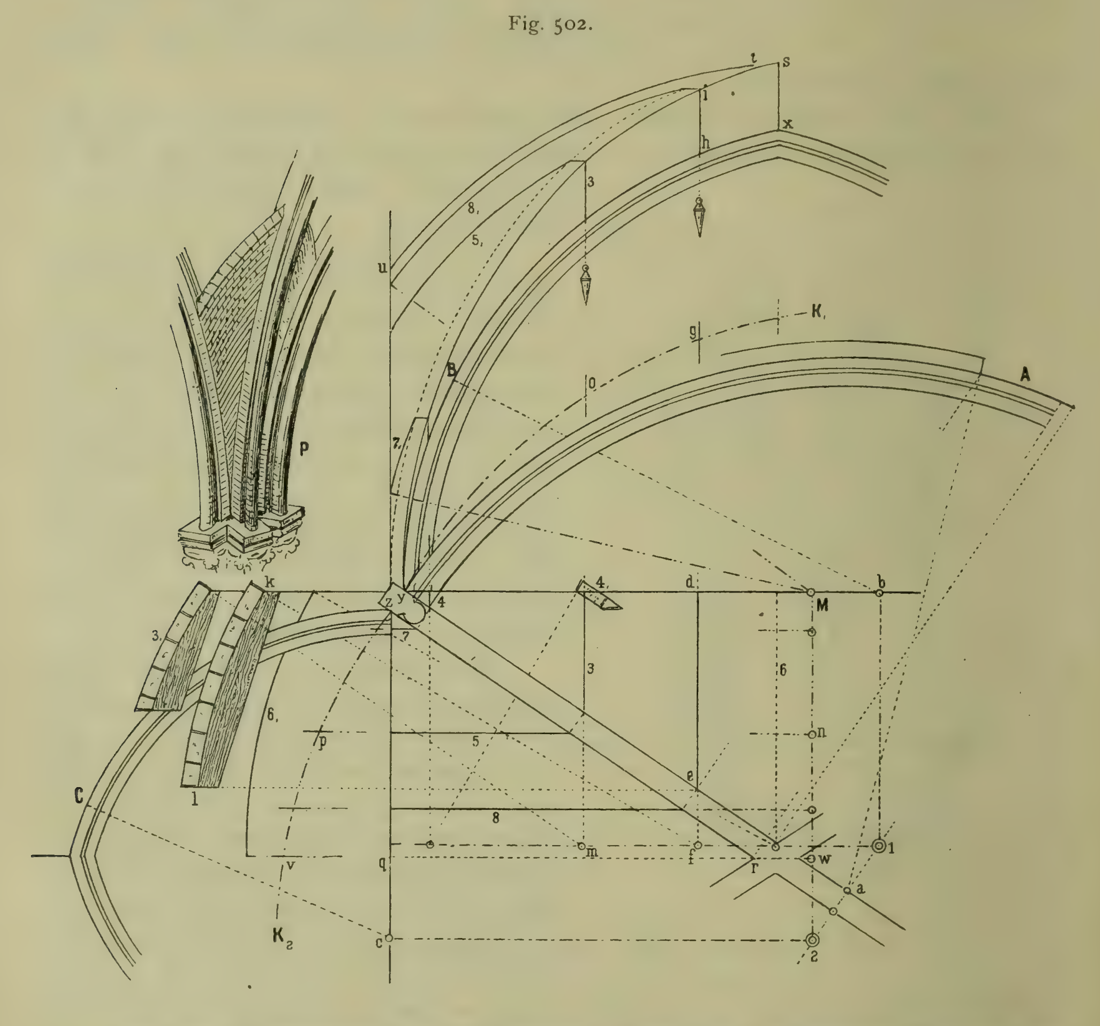
303.
Zweite Anordnung der Wölbfchichten.

b) Die Wölbfchichten find in ihrer wagrechten Projection parallel mit der Grundrifs-Projection der Scheitellinie der Kappe. Bei diefer Anordnung entftehen ftreng genommen Wölbfcharen, welche eine innige Verwandtfchaft mit der Wölbung von cylindrifchen Gewölben auf Kufverband aufweifen. Sind bei gothifchen Kreuzgewölben die zwifchen den Rippen liegenden Kappen cylindrifch geftaltet, fo ift die erwähnte Art der Mauerung der Kappen unter Vorausfetzung einer vorherigen Unterfchalung mit keinen befonderen Umftänden verknüpft.

Bei der Bildung der bufigen Kappen und bei der Rückfichtnahme auf ihre freihändige Mauerung hat jedoch die Lage der Wölbfchichten parallel zur Scheitellinie einen bemerkenswerthen Einflufs auf die Geftaltung der Lager- und Stofsfugenflächen der Wölbfteine.

Iſt nach Fig. 502 auf Grund der in Art. 237 (S. 348) gegebenen Mittheilungen für die Kappen die Beſtimmung der Kugelflächen mit den Mittelpunkten *1* und *2* nebſt den zugehörigen gröſsten Kreiſen K_1, bezw. K_2 getroffen, ſo laſſen ſich, wie ſofort aus der Zeichnung entnommen werden kann, die unteren Lagerkanten der parallel zu den Scheitellinien gerichteten Wölbſcharen austragen. Dieſe Lagerkanten gehören lothrechten Ebenen an, deren wagrechte Spuren parallel der wagrechten Projection der zugehörigen Scheitellinien ſind. Die Schnittlinien dieſer Ebenen mit den betreffenden Kugelflächen ſind alſo Kreisbogen, welche als *kl* dem Parallelkreiſe mit dem Halbmeſſer *fg*, als 3_1 dem Parallelkreiſe mit dem Radius *mo*, weiter als 5_1 dem Parallelkreiſe mit dem Halbmeſſer *np* u. ſ. w. angehören. Dieſe Kreisbogen beſtimmen die Form der Wölblinie in jeder Lagerkante an der Laibungsfläche der einzelnen neben einander liegenden Wölbſchichten.

Fig. 502.

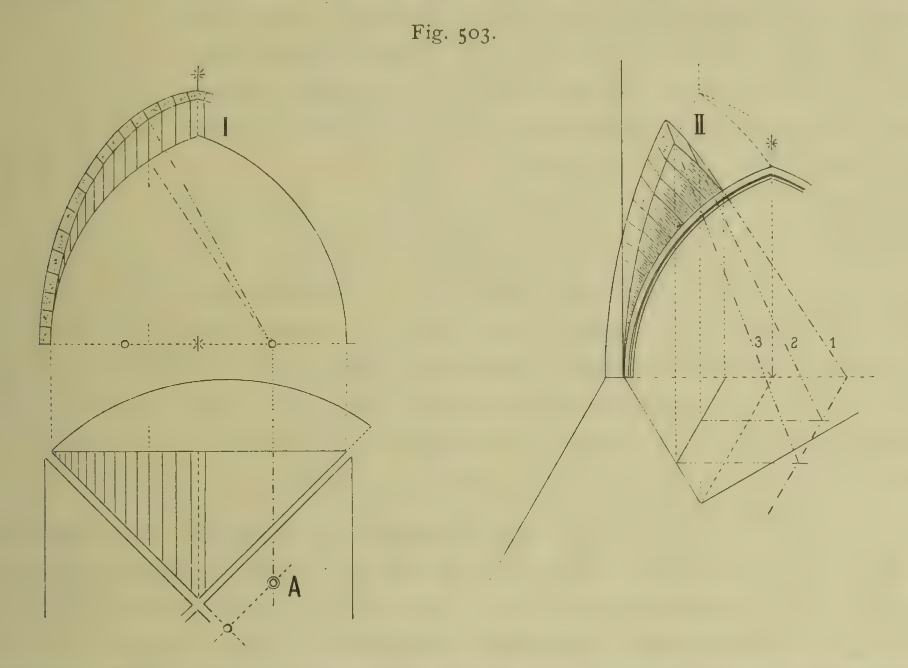


Vermöge der verhältniſsmäſsig geringen Breite der Wölbſcharen können dieſelben in Rückſicht auf die Richtung ihrer Stoſsfugenflächen als ſchmale cylindriſche Gewölbſtreifen angeſehen werden, ſo daſs die Stoſsfugenflächen nicht als Kegelflächen, welche für alle Wölbſcharen die gemeinſchaftliche Spitze im zugehörigen Kugelmittelpunkte finden müſſten, ſondern als ebene Flächen eingeführt werden, welche, wie in *kl* und 3_1, ſo wie beim Anfänger *P* angegeben iſt, ſenkrecht zu der Wölblinie der vorderen oder hinteren unteren Lagerkante der einzelnen Wölbſchichten ſtehen.

Anders geſtaltet ſich die Anordnung der Lagerfugenflächen der einzelnen Wölbſcharen. In Fig. 503 iſt in *I* die Theilung der Schichten am Randbogen für eine Kappenhälfte, deren Laibung die Kugelfläche mit dem Mittelpunkte *A* ſei, ausgeführt und danach die Lage der Wölbſchichten beſtimmt. Die Kreisbogen der Lagerkanten ſind die Leitlinien der Lagerfugenflächen. Die Erzeugenden dieſer Fläche können als gerade Linien feſt geſetzt werden, deren Lage gewiſſen vorgeſchriebenen Bedingungen unterworfen wird. Geht der Endpunkt dieſer erzeugenden Geraden ſtets durch den Mittelpunkt der Kugelfläche, welcher der Kreisbogen der Lagerkante angehört, ſo entſteht bei ihrem Fortbewegen an der entſprechenden Leitlinie eine Kegelfläche als Lagerfugenfläche.

Legt man aber nach *II* (Fig. 503) durch die Kugelfläche der Kappe lothrechte Ebenen parallel zur Ebene des Randbogens, ſo entſteht eine zweite Schar von leicht

Fig. 503.



beſtimmbaren Parallelkreiſen, welche die unteren Lagerfugenkanten der Wölbſchichten ſchneiden. Zieht man durch dieſe Schnitte und durch die Mittelpunkte der zugehörigen zweiten Gruppe von Parallelkreiſen die erzeugenden Geraden, wie *1*, *2*, *3* erkennen laſſen, ſo entſteht eine windſchiefe Fläche als Lagerfugenfläche.

Im Allgemeinen kommen nur dieſe beiden Geſtaltungen der Lagerfugenflächen in Betracht. Bei Backſtein- und dünnem Bruchſteinmaterial tritt in den meiſten Fällen keine beſonders vorzunehmende Zurichtung der Lagerflächen in der einen oder anderen Weiſe ein, weil ſich hierbei ein Ausgleich in der Flächenbildung durch eine entſprechende Stärke der Mörtelbänder in den Lagerfugen ſchaffen läſſt. Bei Quadermaterial iſt aber die Bearbeitung der Lagerflächen nach den gegebenen Erörterungen in ſtrenger Weiſe zu veranlaſſen. Ob dabei Kegelflächen oder windſchiefe Flächen maſsgebend werden ſollen, iſt hinſichtlich der praktiſchen Zurichtung von ziemlich gleicher Bedeutung. Theoretiſch genommen, verdienen die Kegelflächen bei einer Buſung der Kappen nach reinen Kugelflächen den Vorzug.

Bei einer in anderer Weiſe angenommenen Buſung, wovon noch unter 𝔟 die Rede ſein wird, tritt die Anordnung der windſchiefen Lagerflächen ein.

Eine freihändige Ausführung der Kappen ift bei der befchriebenen Anordnung der Wölbfchichten möglich. Als Hilfsmittel dienen dabei nur zur Lehre oder bei längeren Wölbftreifen auch zur Unterftützung derfelben während ihrer Anfertigung, wie in Fig. 502 bei *kl* und $\mathfrak{Z}_1$ angedeutet ift, einfache und leichte, fenkrecht unter die Wölbfchichten ab und zu aufzuftellende Wölbfcheiben, deren obere Begrenzungslinien, wie die Lagerkanten felbft, Theile der vorhin näher bezeichneten Parallelkreife über *fg, mo, np* u. f. f. ihrer zugewiefenen Kugelflächen find, mithin je für fich mit dem befonderen Halbmeffer jener Parallelkreife befchrieben werden müffen.

Fig. 504.

Nach der Bildung der Wölbfchichten laffen fich die Widerlagsflächen an den Rippenkörpern ohne Mühe feft legen. Diefe Widerlagsflächen können nach Fig. 504 entweder wie bei *I* lothrechte Anfätze fein, oder wie bei *II* als fchwalbenfchwanzförmige Einfchneidungen angearbeitet werden. Diefer Rückenanfatz ergiebt fich als zweckmäfsig bei Wölbfchichten, welche gegen einen Rippenkörper anfteigen.

Zu bemerken ift noch, dafs im letzteren Falle die Anfatzflächen der Wölbfchichten an den Rippen Kegel-, bezw. windfchiefe Flächen werden und dafs ferner an den Wölbfchichten, welche fich gegen die Diagonalrippen legen, in jedem Falle Schmiegflächen entftehen, welche namentlich bei Kappen aus Quadern die bereits in Art. 271 (S. 394) erwähnten und als ungünftig bezeichneten Schneiden an den Anfatzfteinen der Kappen bedingen, wenn nicht eine befondere, für gothifche Kreuzgewölbe aber weniger in Betracht kommende Bearbeitung der Rippenfteine vorgenommen werden follte.

304.
Dritte Anordnung der Wölbfchichten.

c) Die Lagerfugenflächen der Wölbfchichten liegen in Normalebenen zum Randbogen. Für die Mauerung der bufigen Kappen aus freier Hand ift bei Verwendung von Backfteinen oder von leichten, gut zu bearbeitenden Bruchfteinen immer eine Anordnung der Schichten vortheilhaft, wonach, wie bei den Kugelgewölben, vom Gewölbefufse an, durch die gefchaffene Mauerung eine Unterftützung der höher liegenden Schichten bereits geboten werden kann. Die unter a befprochenen concentrifchen Ringfchichten entfprechen diefer Forderung, während derfelben bei der unter b mitgetheilten Schichtenlage weniger genügt wird. Aufserdem ift in Rückficht auf die an fich vorhandenen ebenen Seitenflächen des Wölbmaterials auch die Beibehaltung ebener Lager- und Stofsfugenflächen an fämmtlichen Wölbfchichten im ganzen Kappenkörper für eine einfache und leichte Ausführung der Maurerarbeit fehr erwünfcht. Diefe Gründe geben Veranlaffung, die Wölbfchichten in ihren Lagerflächen nach Normalebenen zu ordnen, welche für irgend einen hauptfächlich als Träger eines Kappenftückes auftretenden Rippenkörper feft zu legen find.

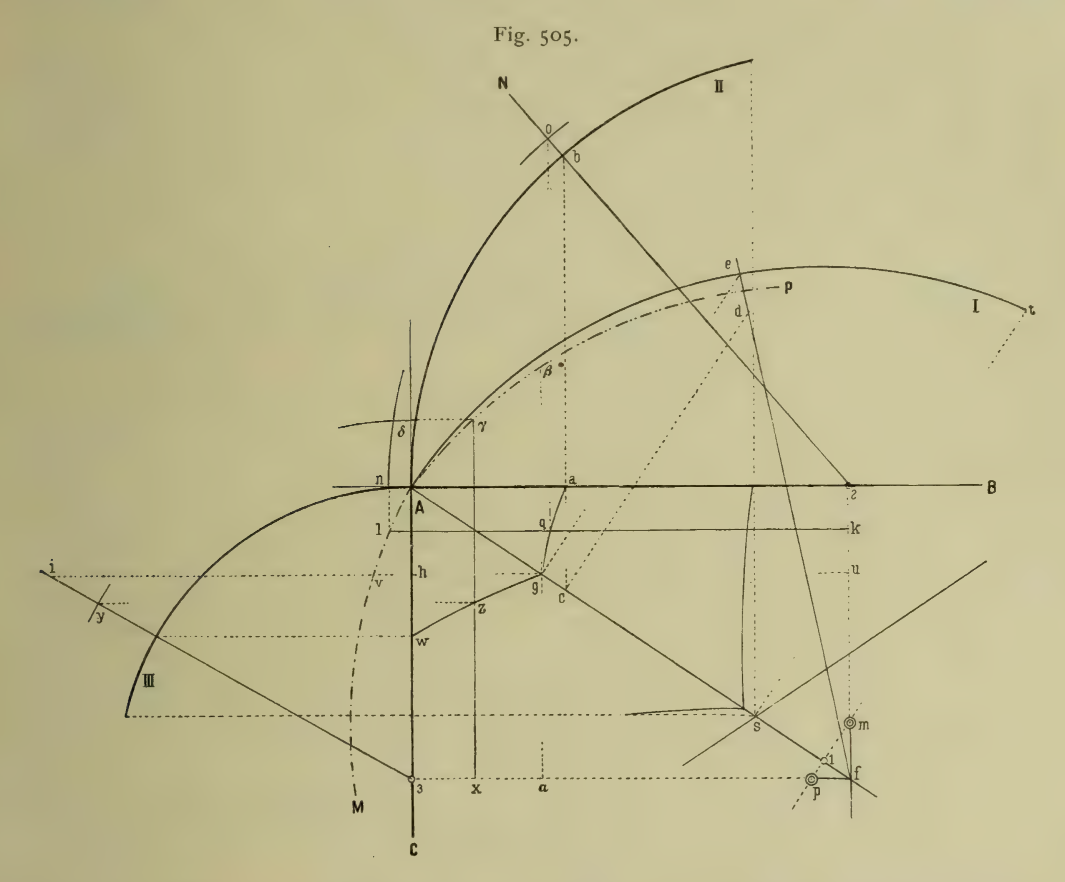
Bei den cylindrifchen Kreuzgewölben ift fchon in Art. 266 (S. 389) auf die Anordnung von Wölbfchichten, geregelt durch Normalebenen zum Gratbogen, hingewiefen. Ganz ähnliche Beziehungen ergeben fich auch bei den Wölbfcharen der Kappen gothifcher Kreuzgewölbe mit Bufung.

Liegen die Lagerflächen der Wölbfchichten in Normalebenen zum Rand-, Gurt- oder Scheidebogen eines Kreuzgewölbes, deffen Kappen nach einer reinen Kugelfläche geftaltet find, fo laffen fich die Lagerkanten der Schichten, welche alsdann

in ihrer wagrechten Projection Theile von Ellipfen werden, nach der in Fig. 505 gegebenen Darftellung leicht ermitteln.

Bei dem über einem rechteckigen Gewölbefelde angenommenen Kreuzgewölbe fei *I* der um *1* als Kreisbogen befchriebene Diagonalbogen, *II* der halbe Randbogen für *AB* mit dem Mittelpunkte *2* und *III* der halbe Randbogen für *AC* mit dem Mittelpunkte *3*. Führt man durch den beliebig gewählten Punkt *b* des Randbogens *II*, welcher hier eben fo wie die Kreisbogen *I* und *III* als Schnittlinie der Laibungsflächen der Kappen mit den Rippenkörpern angefehen werden foll, eine Normalebene *N* mit der Spur *2N* in der Ebene des Randbogens *II* und der Spur *2f*, fenkrecht zu *AB*, in der wagrechten Kämpferebene, fo ergeben fich die Schnittlinien diefer Normalebene zunächft mit der Ebene des Kreisbogens *I* als *fe*, wofür z. B. die Länge des Lothes *cd* auf *Af*, deffen Fufspunkt *c* in der lothrechten Ebene *ab* enthalten ift, gleich der Länge des Lothes *ab* genommen wurde, und fodann mit der Ebene des Kreisbogens *III* als *3i*, wofür z. B. das dem Punkte *g* entfprechende Loth *hi* auf *AC* gleich der

Fig. 505.



Strecke des Lothes *ge* auf *Af* abgetragen wurde. Die wagrechten Projectionen *a*, *g*, *w* der Schnitte der Spuren *2N*, *fe*, *3i* mit den zugehörigen Kreisbogen *II*, *I*, *III* find Grenzpunkte der Grundrifs-Projectionen der für die Normalebene *N* entftehenden Wölblinien *ag* der Kappe *sAB* und *gw* der Kappe *sAC*.

Um ohne Feftlegen der Axen der Ellipfen, welche bei den hier angenommenen Kugellaibungen der Kappen zum Zeichnen der Projectionen *ag* und *gw* benutzt werden könnten, Zwifchenpunkte, wie *q* auf *ag* und *z* auf *gw*, zu beftimmen, find die gröfsten Kreife *M* mit dem Mittelpunkte *m* für die Kappe *sAB* und *P* mit dem Mittelpunkt *p* für die Kappe *sAC* unmittelbar verwerthet.

Die parallel zu *AB* fenkrecht in *kl* aufgeftellte Ebene fchneidet die Kugelfläche *sAB* in einem Parallelkreife mit dem Halbmeffer *kl*. Derfelbe trifft, um *2* mit $2n = kl$ befchrieben, die Spur *2N* im Punkte *o*. Die wagrechte Projection *q* auf *kl* diefes Durchganges *o* ift ein Zwifchenpunkt auf *ag*.

Eben fo wird die Kugelfläche *sAC* von der nach $x\gamma$ geführten lothrechten Ebene nach einem Parallelkreife mit dem Halbmeffer $3\delta = x\gamma$ gefchnitten, welcher auf der Spur *3i* den Punkt *y* liefert, deffen wagrechte Projection *z* auf $x\gamma$ einen Zwifchenpunkt der Wölblinie *gw* ergiebt.

Die Wölblinien, alfo die Lagerkanten der Wölbfcharen der Kappen, find ftets Beftandtheile der gröfsten Kreife ihrer Kugelflächen, weil diefelben in Ebenen liegen, welche durch den Mittelpunkt diefer zugehörigen Kugelflächen gehen. Aufserdem haben fämmtliche Normalebenen die ihnen zukommenden, rechtwinkelig zu den Ebenen der Randbogen ftehenden Kugelaxen als gemeinfchaftliche Schnittlinie. Danach ift alfo die wirkliche Geftalt für die Lagerkante in der Normalebene N der Kappe sAB in dem Theile Av des zwifchen den Parallelen $2A$ und ug, bezw. uv gelegenen, zugehörigen gröfsten Kreifes M und für die antretende Lagerkante gw in dem von den Parallelen $3A$ und $\alpha\gamma$, bezw. $\alpha\beta$ begrenzten Stücke $A\beta$ des zugehörigen gröfsten Kreifes P dargeftellt.

Mit Hilfe diefer einfachen Beziehungen können die Anfatzflächen für die Kappen an den Rippenkörpern, nachdem die Eintheilung der Wölbfcharen an den Randbogen vorgenommen ift, unter Berückfichtigung der normalen Stellung zu den Laibungsflächen der einzelnen Wölbfcharen, welche für alle Stofsfugenflächen, alfo auch für die Anfatzflächen unmittelbar durch die entfprechenden Meridianebenen der in Frage kommenden Kugelflächen erhalten wird, ohne befondere Umftände beftimmt werden.

Die mit gleichem Halbmeffer befchriebenen Lagerkanten der Wölbfcharen, das ohne grofse Mühe zu bewirkende Feftlegen der Endpunkte von gruppenweife zu nehmenden Wölblinien an den Rippenkörpern, die in einfacher Weife zu fchaffende normale Richtung der Lager- und Stofsfugenflächen ergeben für eine freihändig auszuführende Mauerung der Kappen grofse Vortheile. Als geeignetes Werkzeug kann beim Wölben der Kappen ein verftellbarer Stichbogen (Fig. 506[181]), hier und dort »Säbelfcheide« genannt, zum Innehalten richtiger Wölblinien oder zur Prüfung der Lage der gemauerten Wölbfcharen in Gebrauch genommen werden. Die beiden neben einander liegenden, mit Nuth und Zapfen als Führung verfehenen, verfchieblichen Bretter find oben nach einem Theile des für eine Kappe ermittelten gröfsten Kreifes gerundet. Durch Zufammenfchieben oder Ausziehen diefer Lehre wird für kürzere oder längere Wölbfcharen die erforderliche Wölblinie erhalten. Durch die an den Stirnen diefes verftellbaren Stichbogens angebrachten kleinen eifernen Winkel kann die Auflagerung feiner Enden und gleichzeitig dann eine Unterftützung der Wölbfcharen durch diefe Wölblehre während der Ausführung erreicht werden. In neuerer Zeit werden diefe verftellbaren Stichbogen nach Fig. 507[182]) auch aus Schmiedeeifen angefertigt.

Fig. 506.

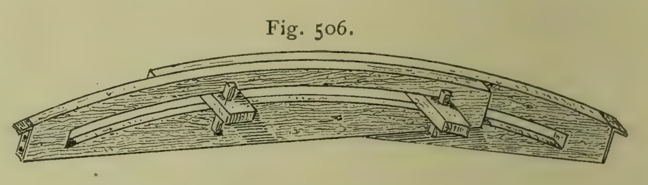
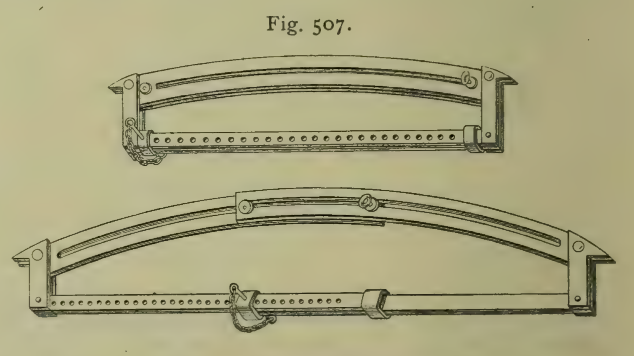


Fig. 507.



Bei der befchriebenen Anordnung der Schichten tritt über der Scheitellinie der Kappen ein Zufammenfchnitt der Wölbfcharen nach Schwalbenfchwanz-Verband ein. Hierbei zeigt fich aber meiftens ein fehr flach gegen einander tretendes Schnäbeln der zufammentreffenden Steine. Um das dann in erhöhtem Mafse er-

[181]) Siehe: VIOLLET-LE-DUC. *Dictionnaire raifonné de l'architecture françaife etc.* Band 4. Paris 1861. S. 106.

[182]) Von OSCAR SCHACH, Altenburg S.-A. Gebrauchsmufter Nr. 2885.

forderliche Verhauen diefer Schnabelfteine über der Scheitellinie zu vermeiden, kann, wie aus Fig. 505 bei *s* zu erfehen ift, die Grenze für die eigentliche Einwölbung der Kappen durch einen linfenförmigen Spalt gebildet werden, welcher durch kleine Gewölbftreifen, die fich rechtwinkelig nach Art des *Moller*'fchen Verbandes gegen die Seitenflächen der Linfe fetzen, leicht zu fchliefsen ift. Der gefchilderte Fugenfchnitt der Kappen kann auch felbft in feinen Grundlagen beibehalten werden, wenn durchaus Quader als Wölbmaterial Verwendung finden follen.

305. Vierte Anordnung der Wölbfchichten.

d) Die Lagerfugenflächen der Wölbfchichten liegen in Normalebenen zum Gratbogen. Um die Vortheile der unter c erklärten Anordnung der Wölbfchichten für die praktifche Ausführung der Kappen vollftändig auszunutzen und um aufserdem noch einen zweckmäfsigeren Zufammenftofs der über der Scheitellinie der Gewölbe zu vereinigenden Wölbfcharen in möglichft rechtwinkelig auf Schwalbenfchwanz-Verband geordneten Wölbfteinen zu erzielen, ift die Anlage der Wölbfchichten nach Normalebenen zum Grat- oder Diagonalbogen vorzugsweife geeignet. Diefe Anordnung findet denn auch bei den gothifchen Kreuzgewölben, deren Kappen aus Backfteinen oder geeigneten Bruchfteinen ausgeführt werden follen, gleichgiltig, ob die Bufung diefer Kappe einer Kugelfläche oder einer anderen gefetzmäfsig gebildeten Fläche entfpricht, in der Regel die weit gehendfte Anwendung.

Wird zunächft die Gewölbebildung mit Kappen, deren Laibungsflächen in bekannter Weife als Kugelflächen geftaltet find, betrachtet, fo mögen in Fig. 508 die Kreisbogen A mit dem Mittelpunkte a, B mit dem Mittelpunkte b und C mit dem Mittelpunkte c die Schnittlinien der Laibungsflächen der Kappenftücke I und II an den Randbogen, bezw. an der Diagonalrippe fein. Für diefe Diagonalrippe ift die Breite cc_1 im Grundriffe angenommen. Der Mittelpunkt der Kugelfläche für die Kappe I wird in der wagrechten Kämpferebene in 1 erhalten; der gröfste Kreis diefer Kugel mit dem Halbmeffer $1e$ ift als ek_1 angegeben.

Für die Kugelfläche der Kappe II ift 2 in der Kämpferebene der Mittelpunkt, $2f$ der Halbmeffer und fk_2 ein Stück ihres gröfsten Kreifes. Irgend eine durch den Kreisbogen C gelegte Normalebene N mit der Spur cd in der Ebene der Anfchlufslinie C an der Diagonalrippe und der rechtwinkelig in c auf ec ftehenden Spur $2cg$ in der wagrechten Kämpferebene, welche zugleich die Axe der Kugelflächen der Kappen I und II ift, durch welche die fämmtlichen Normalebenen des Bogens C gehen, fchneidet als Meridianebene diefe beiden Kugelflächen je für fich nach den fchon beftimmten gröfsten Kreifen k_1, bezw. k_2. Hierdurch ift bereits die wirkliche Geftalt der unteren Lagerkanten der Wölbfchichten erhalten, und in Folge hiervon kann, wie in E und D gezeigt ift, nach Angabe der Kappenftärke und der Breite der Diagonalrippe fofort unter Benutzung der zugehörigen Kugelmittelpunkte 1 und 2 der fog. Normalfchnitt in wahrer Gröfse unter Einführung des Rückenanfatzes, fo wie der Profilirung am Grat äufserft leicht ausgetragen werden. Sämmtliche Stofsfugenflächen der Wölbfchichten gehören wiederum Meridianebenen der betreffenden Kugelflächen an. Hiermit ift eigentlich das Nothwendige für die praktifche Ausführung der Wölbung der Kappen und für die Beftimmung der Anfatzflächen an den einzelnen Rippen vollftändig gegeben.

Die Lagerflächen folgen ftets den Normalebenen zum Grat. Geübte Maurer find im Stande, die richtige Stellung diefer Ebenen bei dem freihändigen Aufbau der Kappen inne zu halten. Wird zur Aufrechterhaltung der wirklichen kreisförmigen Lagerkanten als Hilfsmittel die in den Fig. 506 u. 507 gegebene verftellbare Lehre benutzt, fo können bei einiger Sorgfalt unregelmäfsige Geftaltungen in den Wölblinien und damit in den einzelnen Kugelflächen durchaus vermieden werden.

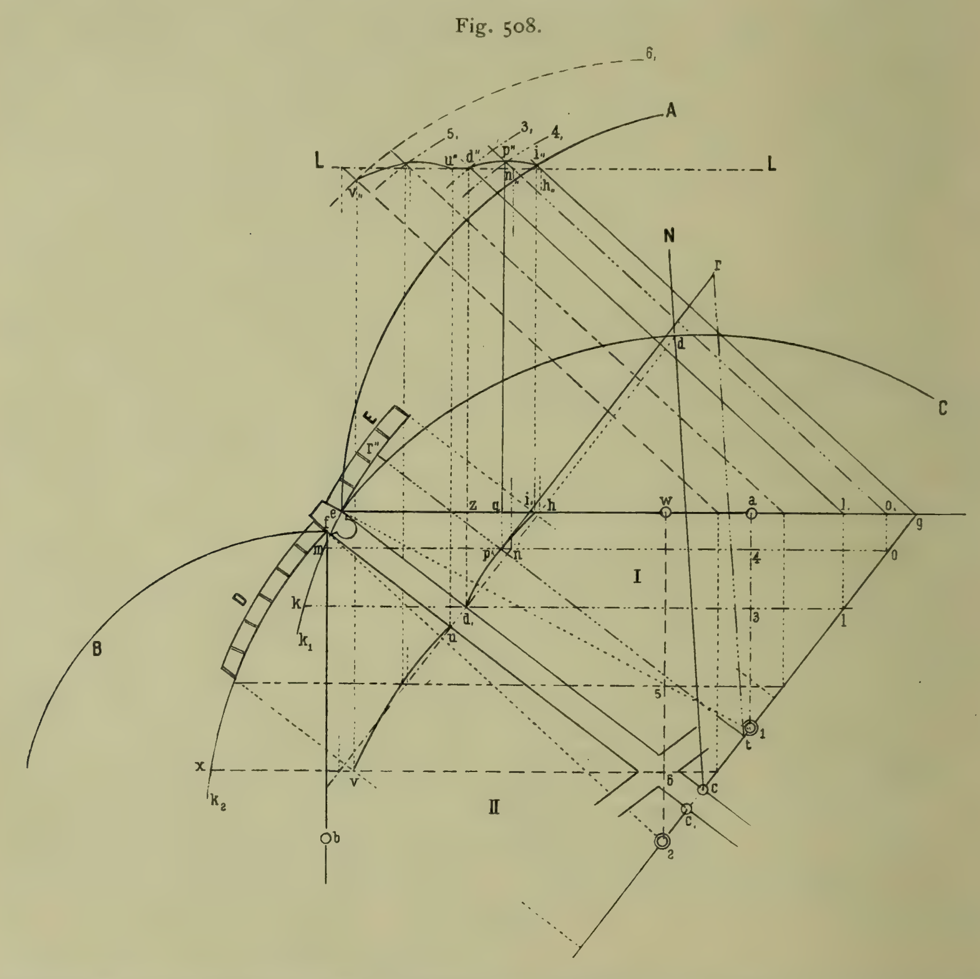
Erfcheint es erwünfcht, für fpäter unverputzte Kappenflächen einen ftreng richtigen Verband und einen regelrechten Verlauf der Lagerkanten der Wölbfchichten zu wahren, fo find die Projectionen der Lagerkanten für mehrere Normalebenen zum Diagonalbogen durch Zeichnung zu ermitteln, um hierdurch die Lage ihrer Anfchlufspunkte, wie i am Randbogen A, oder auch wie v an der Scheitellinie der

Kappe *II* angeben zu können. Namentlich ift das nach der Zeichnung vorgenommene wirkliche Uebertragen einer Gruppe von Anfchlufspunkten auf die Randbogen für eine regelmäfsige Geftaltung der Kappenwölbung von Vortheil.

In Fig. 508 ift die wagrechte Projection $d_1 i_1$, uv, fo wie die lothrechte Projection $d_{,,} i_{,,}$, $u_{,,} v_{,,}$ der Wölblinie gezeichnet, welche eine durch den beliebig genommenen Punkt d des Bogens C geführte Normalebene N auf den Kappenflächen hervorruft.

Die Punkte d_1 und u ergeben fich ohne Weiteres auf ec, bezw. fc_1 als wagrechte Projectionen des Punktes d. Die Grenzpunkte i und v find in folgender Weife beftimmt. Eine durch d geführte wagrechte Ebene fchneidet die Normalebene N in einer wagrechten Geraden. Die lothrechte Projection LL

Fig. 508.



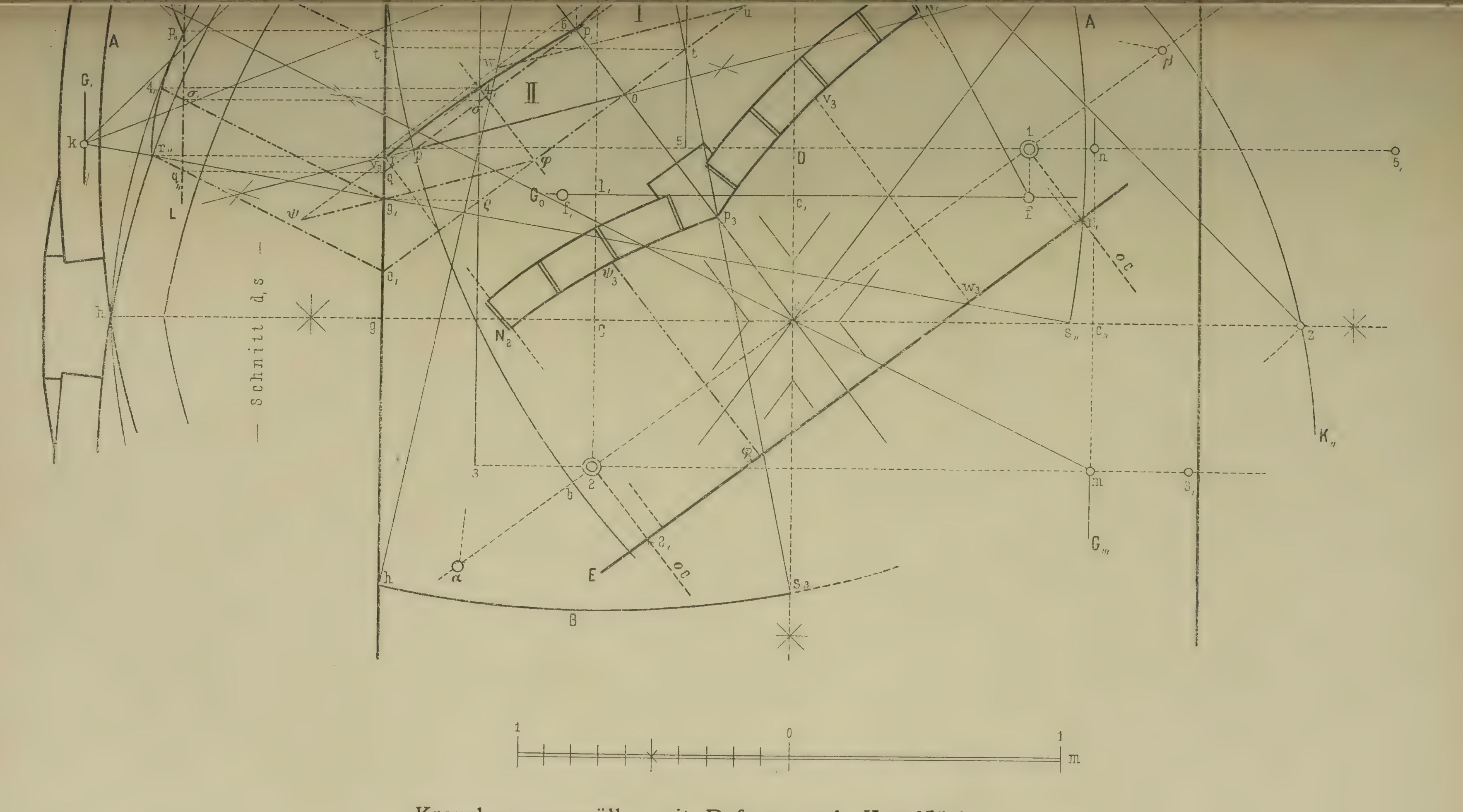
diefer Geraden in der lothrechten Ebene des Bogens A ift parallel zu ea im Abftande $eL = d_1 d$ zu führen, während die Grundrifs-Projection $h d_1 u$ derfelben parallel zur wagrechten Spur $g2$ der Normalebene N zieht. Die zu h gehörige lothrechte Projection $h_{,,}$ auf der Geraden LL liefert in Verbindung mit dem Punkte g die Spur $g h_{,,}$ der Normalebene N in der Ebene des Bogens A. Die Verlängerung diefer Spur $g h_{,,}$ bis zum Bogen A liefert den Schnitt $i_{,,}$ als lothrechte Projection des Anfchlufspunktes der gefuchten Wölblinie. Die wagrechte Projection ift i_1 auf ea. Um einen Zwifchenpunkt diefer Wölblinie zu ermitteln, ift eine lothrechte Ebene parallel zur Ebene des Bogens A, z. B. nach mo, geführt. Diefelbe wird im Grundriffe in n von der wagrechten Projection hd_1u der vorhin gekennzeichneten Geraden LL durchftofsen. Die lothrechte Projection $n_{,,}$ diefes Durchftofspunktes auf LL giebt in Verbindung mit o_1, welcher dem Schnitte o der Geraden mo mit der Spur $g2$ der Normalebene N entfpricht, offenbar die lothrechte Projection $n_{,,} o_1$ der Schnittlinie diefer Normalebene mit jener nach mo aufgeftellten lothrechten Ebene. Letztere fchneidet die Kugelfläche der Kappe I nach einem Parallelkreife mit dem



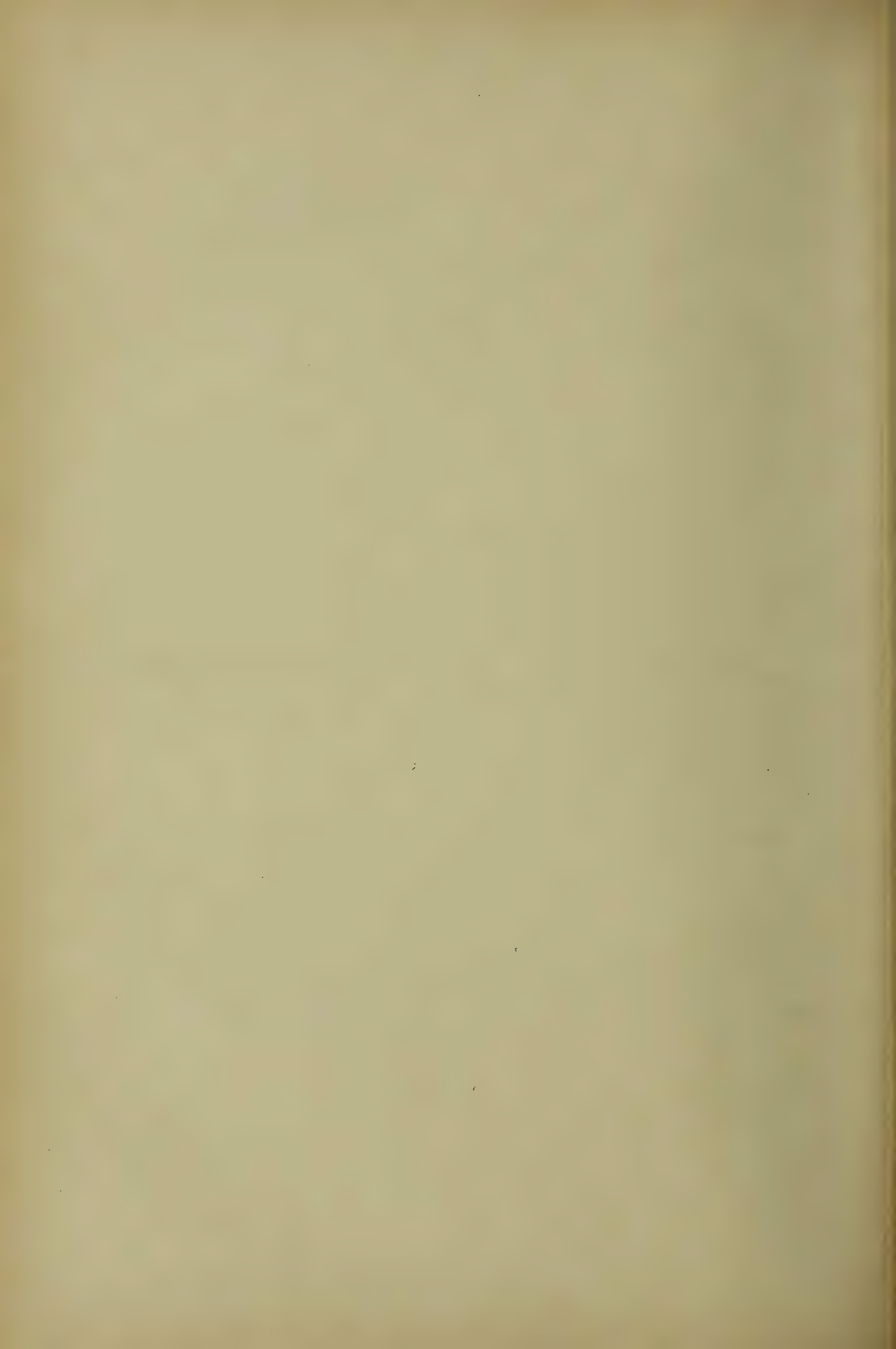
Zu S. 445.

Schnitt gz. —

— Grundrifs —



Kreuzkappengewölbe mit Bufung nach Kugelflächen
über rechteckigem Gewölbefelde.



Halbmeffer $4m$. Wird mit diefem Halbmeffer um a ein Kreisbogen 4_1 befchrieben, fo fchneidet derfelbe die gehörige verlängerte Gerade $n_{,,}o_1$ im Punkte $p_{,,}$, wodurch die lothrechte Projection eines Zwifchenpunktes für die in Frage kommende Wölblinie gefunden ift. Die wagrechte Projection deffelben ift p_1 auf mo. Auf dem befchriebenen, in der Zeichnung weiter zu verfolgenden Wege find beliebig viele Punkte der Wölblinie zu ermitteln. Zu beachten ift nur, dafs für die Kappe II in Bezug auf uv der gröfste Kreis k_2 bei der Beftimmung der in Anwendung zu bringenden Parallelkreife zu berückfichtigen ift und dafs ferner die Mittelpunkte diefer Gruppe von Parallelkreifen in dem von 2 auf ea gefällten Lothe $2w$ liegen. So ift z. B. der Parallelkreis 6_1 um w mit dem Halbmeffer $6x$ zu befchreiben.

Bei der praktifchen Ausführung der Kappenwölbung ift es zuweilen erwünfcht, die lothrechte Höhenlage gewiffer Punkte diefer oder jener Wölblinie über der wagrechten Kämpferebene inne zu halten, ohne die vollftändige wagrechte und lothrechte Projection einer folchen Wölblinie zu zeichnen. Man benutzt für diefe Ausmittelung unmittelbar den Normalfchnitt DE.

Soll z. B. die lothrechte Höhenlage des beliebigen Punktes $r_{,,}$ einer Wölblinie, welche einem beliebigen Normalfchnitte N angehört, deffen Spuren in cd und $2g$ feft gelegt find, über der Kämpferebene gefunden werden, fo fälle man von $r_{,,}$ das Loth $r_{,,}t$ auf $2g$, ziehe durch t einen Strahl tr parallel zu cN und fchneide $tr = tr_{,,}$ ab. Das von r auf $r_{,,}t$ gefällte Loth rp_1 ift die gefuchte Höhe. Gleichzeitig ift in p_1 auf $r_{,,}t$ auch die wagrechte Projection eines Zwifchenpunktes der einer Ebene N angehörenden Wölblinie erhalten.

Für die Richtigkeit diefes Verfahrens gelten die folgenden Gründe. Eine lothrechte Ebene, welche parallel zu der Ebene ec des Bogens C nach einer wagrechten Spur $r_{,,}t$ geführt ift, fchneidet die Kugelfläche der Kappe I nach einem Parallelkreife, deffen Mittelpunkt t auf der jetzt in Frage kommenden Kugelaxe $c1$, bezw. $2g$ liegt, deffen Halbmeffer unter Berückfichtigung des gröfsten Kreifes diefer Kugelfläche gleich $tr_{,,}$ wird. Diefer Halbmeffer ift in der Normalebene N eine Parallele zum Halbmeffer cd der gleichfalls als Parallelkreis auftretenden Schnittlinie C der lothrechten Seitenebene der Diagonalrippe, fo dafs nach diefer Benutzung der Kugelfläche der Kappe I die Höhenlage des Punktes r in einfachfter Weife zu finden ift.

Wie fofort zu erkennen, kann das foeben angegebene Verfahren auch zur Beftimmung der wagrechten und lothrechten Projectionen der Wölblinie angewendet werden, welche irgend einer Normalebene N zukommt.

Für das Einwölben der Kappen der gothifchen Kreuzkappengewölbe oder der flachen Kreuzgewölbe, deren Geftaltung im Art. 290 (S. 421) befprochen wurde, ift ebenfalls die Bildung der Wölbfchichten nach Normalebenen zum Diagonalbogen vorwiegend in Gebrauch zu nehmen.

Die Ausmittelung des fog. Normalfchnittes und die Beftimmung der Projectionen der zugehörigen Wölblinien ift nach den im Vorhergehenden angeführten Grundlagen zu bewirken. Ihre Anwendung foll in der Zeichnung auf neben ftehender Tafel noch näher gezeigt werden.

Ein rechteckiges Gewölbefeld von 4 m Länge und 3 m Breite ift mit einem Kreuzkappengewölbe mit Bufung nach Kugelflächen von 1 m Pfeilhöhe unter Anwendung von Backfteinmaterial zu überdecken. Die Bogenlinie der nicht profilirten Diagonalrippen ift ein flacher Kreisbogen, welcher zur Hälfte als ab feitlich von as mit der Pfeilhöhe $sb = 1$ m gezeichnet ift. Der Mittelpunkt c diefes Kreisbogens, welcher alfo nicht als Spitzbogen auftreten foll, liegt auf der verlängerten Geraden bs. Eine durch c parallel zu as geführte Gerade G beftimmt die wagrechte Grundebene, worin aufser c auch fämmtliche Mittelpunkte der Kugelflächen der Laibungen der Kappen, mithin auch die Mittelpunkte ihrer Schnittlinien mit den lothrechten Seitenebenen der Rand- oder Gurtbogen des Gewölbefeldes liegen. Der Abftand diefer Grundebene oder Mittelpunktsebene von der wagrechten Kämpferebene ergiebt fich als sc.

Im Schnitte nach gz ift die Kämpferebene durch die wagrechte Gerade $a_1a_{,,}$ beftimmt, während diefelbe in dem Schnitte d_1s gleich durch die fchon vorhandene Gerade ag feft gelegt ift. Die in d_1, bezw. g zu den entfprechenden Geraden errichteten Lothe ds_1, bezw. gh find gleich der Pfeilhöhe sb, fo dafs s_1, bezw. h die lothrechten Projectionen des Gewölbfcheitels find. Trägt man auf der Verlängerung von s_1d die Strecke dc_1 gleich der Strecke sc ab, fo giebt die durch c_1 parallel zu $a_,a_{,,}$ gezogene Gerade G_0 die Lage der Grundebene in Bezug auf den Schnitt gz an, wie auch nach Abtragen der Strecke sc

von g nach $c_{,,}$ auf der verlängerten Geraden hg in der durch $c_{,,}$ parallel zu ag geführten Linie $G_{,,,}$ die für den Schnitt $d_1 s$ mafsgebende Grundebene erhalten wird.

Die Schnittlinie der Laibungsfläche der Kappe I an der fchmalen Rechtecksfeite foll ein flacher Spitzbogen $a_{,}ea_{,,}$ fein, deffen Pfeilhöhe de kleiner als die Pfeilhöhe ds, des Gewölbes felbft fein möge. Berückfichtigt man nur die Hälfte $a_{,}e$ diefes mit dem Flachbogen der Diagonalrippe über as im Kämpferpunkte $a_{,}$ zufammentretenden Spitzbogens, fo ergiebt fich nach bekannter Conftruction in f auf G_0 der Mittelpunkt für den Kreisbogen $a_1 e$. Nimmt man auf G_0 die Strecke $c_{,}f = c_{,}f_{,}$, fo ift $f_{,}$ der Mittelpunkt der anderen Hälfte $ea_{,,}$ jenes Spitzbogens. Aus diefen Mittelpunkten find, wie der Schnitt gz zeigt, auch die concentrifchen Begrenzungslinien der Profile des vorfpringenden Rand- oder Gurtbogens zu befchreiben. Errichtet man nunmehr in f das Loth f_1 auf G_0, fo fchneidet daffelbe das in c auf G vorhandene Loth cb im Punkte 1. Diefer Punkt ift die wagrechte Projection des Mittelpunktes der Kugelfläche für die Laibung des Kappenftückes I. Der Mittelpunkt der Kugel felbft liegt um die Strecke sc fenkrecht unter der Kämpferebene. Eine durch den Punkt 1 geführt gedachte lothrechte Kugelaxe ergiebt im Durchftofspunkte 1 mit der wagrechten Kämpferebene den Mittelpunkt eines diefer Kugelfläche angehörenden Parallelkreifes $K_{,}$, deffen Halbmeffer nun als $1a$ beftimmt ift. Um die Gröfse des Halbmeffers der Kugel zu finden, ift nur durch 1 eine Parallele 1γ zu as bis zum Schnitte mit $K_{,}$ in γ zu ziehen, auf dem Lothe $c\alpha$ zu as, bezw. zu 1γ die Strecke $1\alpha = sc$ abzutragen, wonach in $\alpha\gamma$ diefer Halbmeffer erhalten wird.

Nach diefer Ausmittelung ift die Kugelfläche des Kappenftückes I vollftändig feft gelegt. Für das Austragen der Scheitellinie A über $d_1 s$ ift von 1 das Loth $1k$ auf $c_{,}d_{,}$ zu fällen und auf demfelben die Strecke $Dk = sc$ abzufchneiden. Die durch k parallel zu $c_{,}d_{,}$ gezogene Gerade $G_{,}$ ift wiederum als Grundebene anzufehen. Der verlängerte Strahl $c_{,}d_{,}$ trifft den Parallelkreis $K_{,}$ in i; folglich ift ki der Halbmeffer der um k als Kreisbogen zu befchreibenden Scheitellinie A. Als Probe für die Richtigkeit der Zeichnung mufs fich, nachdem der Bogen A gefchlagen ift, die Länge $d_{,}e_{,}$ gleich der Pfeilhöhe de des Spitzbogens $a_{,}ea_{,,}$ im Schnitte gz und die Länge $ss_{,,}$ gleich der Pfeilhöhe sb des Diagonalbogens herausftellen. Der Bogen A ift danach im Schnitte $d_{,}s$ eingetragen. Die Schnittlinie der Wölbfläche der Kappe II möge ein flacher Spitzbogen fein, deffen Pfeilhöhe gh gleich der Pfeilhöhe sb des Diagonalbogens ift. Für die Hälfte ah diefes Spitzbogens ift unter Benutzung der bereits angegebenen Grundebene $G_{,,,}$ in m der zugehörige Mittelpunkt beftimmt. Der Schnitt 2 des in m auf $G_{,,,}$ errichteten Lothes mit dem Strahle $cs\alpha$ ift die wagrechte Projection des Mittelpunktes der Kugelfläche für die Laibung der Kappe II. Entfprechend den bei der Kugelfläche I angeftellten Betrachtungen wird der um 2 mit dem Halbmeffer $2a$ befchriebene Kreis $K_{,,}$ ein in der Kämpferebene gelegener Parallelkreis diefer zweiten Kugel. Der Kugelhalbmeffer ergiebt fich als $\beta\delta$. Hierzu ift durch 2 eine Parallele zu as zu legen, um ihren Schnitt δ mit dem Parallelkreife $K_{,,}$ zu erhalten, und weiter $2\beta = sc$ auf $2c$ abzufchneiden, wodurch $\beta\delta$ gefunden wird. Für die Scheitellinie B über sg ift auf dem von 2 auf sg gefällten Lothe die Strecke $Cl = sc$ abzufetzen, fo dafs $G_{,,}$ Grundebene und l Mittelpunkt für den Kreisbogen B wird. Der Schnitt z der verlängerten Geraden gs mit dem Parallelkreife $K_{,,}$ beftimmt die Länge des Halbmeffers lz der Scheitellinie B. Als Probe der Richtigkeit diefes Bogens mufs jetzt $ss_3 = sb$ und eben fo, da die Pfeilhöhe des Randbogens $ah = sb$ genommen war, $gh = sb$ gefunden werden. Im Schnitte gz ift diefer Bogen B wiederum berückfichtigt.

Da die Halbmeffer $\alpha\gamma$ für die Kugelfläche I und $\beta\delta$ für die Kugelfläche II bekannt geworden find, fo ift hierdurch für alle Normalfchnitte zum Gratbogen das zum Austragen ihrer wirklichen Gröfse Erforderliche erreicht. Die Wölblinien von fämmtlichen Normalfchnitten find Theile der mit den Halbmeffern $\alpha\gamma$, bezw. $\beta\delta$ zu befchreibenden gröfsten Kreife ihrer Kugelflächen. So ift auch für den Normalfchnitt pc die Wölblinie $p_3 N_1$ mit dem Halbmeffer $\alpha\gamma$, die Wölblinie $p_3 N_2$ mit dem Halbmeffer $\beta\delta$ zu befchreiben, wobei die Mittelpunkte der einzelnen in p_3 fich fchneidenden Kreisbogen in den durch 1, bezw. durch 2 fenkrecht zu αc geführten, hier nicht weiter verlängerten Strahlen oc liegen.

Sollen, wie in der Zeichnung gefchehen, fämmtliche Projectionen der durch eine Normalebene, z. B. pc, des Diagonalbogens ab auf den Wölbflächen I und II entftehenden Schnittlinien dargeftellt werden, fo kann dazu der folgende Weg dienen. Die durch die wagrechte Projection $p_{,}$ des Punktes p fenkrecht auf as gehende Gerade qq fei die Grundrifs-Projection einer durch p geführten wagrechten Linie, deren lothrechte Projection im Schnitte $d_{,}s$ durch $Lp_{,,}L$ gegeben ift. Die wagrechte Spur $\pi o_{,}$ der Normalebene pc geht in der Kämpferebene rechtwinkelig zu as durch den Punkt o. Führt man zur Beftimmung irgend eines Punktes der durch die Normalebene pc auf der Kugelfläche I hervorgerufenen Schnittlinie beliebig eine lothrechte Ebene parallel zur Seitenebene ag, z. B. nach $5\ 6$, fo wird die durch qq und $\pi o_{,}$ gelegte Ebene nach einer Geraden mit den Projectionen $t7$ und $t_{,}8$ getroffen, während die

Kugelfläche *I* von jener lothrechten Ebene nach einem Kreise geschnitten wird, welcher als Parallelkreis der Kugel *I* mit dem bekannt gewordenen Punkte *6* auf K' erscheint. Eine lothrechte Axe derselben geht durch *1* in der Kämpferebene. Trägt man also auf dem Strahle *5 1* die Strecke $5\,5_{,} = s\,c$ ab, so ist $5_{,}$ der Grundebene des für *5 6* entstehenden Parallelkreises zuzuweisen, wonach sich in *5, 6* der Halbmesser dieses Parallelkreises ergiebt. Für den Schnitt *d, s* ist aber $G_{,,,}$ die Grundebene. In derselben ist durch *n* der Durchstofspunkt jener mehrfach erwähnten, den Punkt *1* enthaltenden lothrechten Kugelaxe bestimmt. Beschreibt man daher um *n* mit dem Halbmesser *5, 6* einen Kreisbogen, welcher die verlängerte Gerade *t, 8* des Schnittes *d, s* im Punkte $v_{,,}$ trifft, so ist hierdurch die lothrechte Projection eines Punktes der gesuchten Wölblinie auf der Kappenfläche *I* gefunden. Die wagrechte Projection dieses Punktes ist *v* auf der Geraden *5 6*. Für die Lage des entsprechenden Punktes v_3 im Normalschnitte $N_1\, p_3\, N_2$ ist $w_3\, v_3$ gleich dem wirklichen Abstande innerhalb der geneigten Normalebene von der Kämpferebene *E*, also gleich der Hypotenuse *u w* des rechtwinkeligen Dreieckes *u v w*, dessen Kathete *v w* gleich der Höhe $x\, v_{,,}$ ist und wobei außerdem die Kathete *u v* parallel zu *a s* gerichtet sein muss. Für einen Punkt der auf der Fläche *II* durch die Normalebene erzeugten Wölblinie kommt der Parallelkreis $K_{,,}$ in Betracht. So ist z. B. für das Festlegen des Punktes $4_{,,}$ im Schnitte *d, s* zunächst *3 4* parallel zu *a g* gezogen, alsdann $3\,3_{,} = s\,c$ genommen und endlich um *m* mit dem Halbmesser von der Länge *3, 4* ein Kreisbogen geschlagen, welcher die verlängerte, hier in Frage kommende Gerade *g, σ*, im gesuchten Punkte $4_{,,}$ trifft. Hiernach ergiebt sich $4_{,}$ auf *3 4* als ein Punkt der wagrechten Projection der zugehörigen Wölblinie. Im Normalschnitte ist $\varphi_3\, \psi_3$ gleich der Hypotenuse $\varphi\, \psi$ des rechtwinkeligen Dreieckes $\varphi\, w\, \psi$, worin $w\, \psi$ gleich der Höhenlage des Punktes $4_{,,}$ über *a g* ist. Nach diesen Angaben können beliebig viele Punkte der Wölblinien eines Normalschnittes *p c* bestimmt werden.

306.
Wölbung aus Quadern.

Für die Ausführung der Gewölbekappen aus Quadern wird zur Herstellung eines ordnungsmäßigen, in gutem Verbande stehenden Fugenschnittes der Wölbsteine das Zeichnen der Wölblinien im Aufriss, vorzugsweise aber im Grundriss erforderlich.

Bei der Anordnung der Lagerflächen nach Normalebenen zum Diagonalbogen sind die unteren Lagerkanten bei Kappen mit Kugellaibungen einfach Theile eines größten Kreises. Sämmtliche Normalebenen gehen durch die Kugelaxe, welche rechtwinkelig zur Ebene des Diagonalbogens steht. Je nach der Neigung der einzelnen Normalebenen erscheinen also die Grundriss-Projectionen jener Lagerkanten zwischen den Grenzlagen, nämlich der geraden Linie (Kugelaxe) für die lothrechte Stellung der Normalebene und dem Kreisbogen (Theil des größten Kreises) für die wagrechte Lage derselben, als Stücke von Ellipsen. Durch die an sich einfache Bestimmung der Axen dieser verschiedenen Ellipsen wird eine bedeutende Erleichterung für das Festlegen der Grundriss-Projection der Lagerkanten der einzelnen Wölbschichten herbeigeführt. In Fig. 509 sind die hierfür in Frage kommenden Darstellungen gegeben.

Für ein rechteckiges Gewölbefeld ist der um *a* beschriebene Kreisbogen *A* die Ansatzlinie des Kappenstückes *q d s*, der um *b* geschlagene Kreisbogen *B* die Randlinie des Kappenstückes *r d s* und der Kreisbogen *C* mit dem Mittelpunkte *c* die Schnittlinie beider Kappentheile an dem hier unprofilirt genommenen Diagonalbogen.

Man findet in *1* den Mittelpunkt der Kugelfläche für die Kappe *q d s* mit dem größten Kreise K_1 und dem Halbmesser *1 d*, in *2* den Mittelpunkt der Kugelfläche für die Kappe *r d s* mit dem größten Kreise K_2 und dem Halbmesser *2 d*. Die beiden Kugeln gemeinschaftliche, senkrecht auf der Ebene des Diagonalbogens *C* stehende Axe ist die durch *1* und *2* gehende Gerade *I II*.

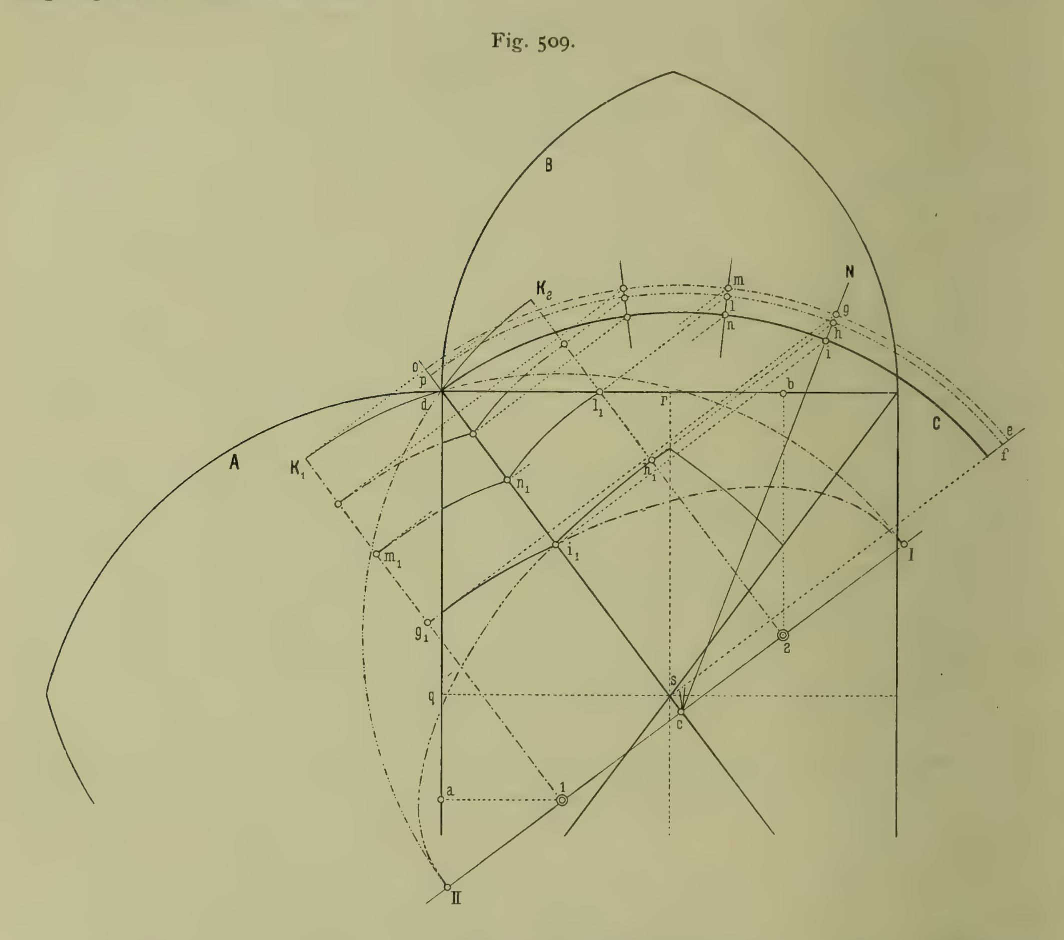
Die auf *I II* in *1* senkrecht stehende Gerade $1\, K_1$ und das in *2* auf *I II* gezeichnete Loth $2\, K_2$ sind Kugelaxen der Kappen *q d s* und *r d s*, welche in *1*, bezw. *2* parallel zur Gratebene *C* geführten Ebenen angehören. Ueber $1\, K_1$ erhebt sich ein größter Kreis $K_1\, I$; über $2\, K_2$ steht ein größter Kreis $K_2\, II$. Dieselben sind nur theilweise gezeichnet, aber gleichzeitig als *o e* für $K_1\, I$ und als *p f* für $K_2\, II$ in die Ebene des Bogens *C* gebracht.

Legt man durch den beliebig angenommenen Punkt *i* des Diagonalbogens *C* eine Normalebene mit den Spuren *c N* und *I II*, wovon *c N* den größten Kreis *o e* in *g*, den größten Kreis *p f* in *h* trifft, so wird die Kugelfläche *q d c* nach einem größten Kreise vom Halbmesser *c g*, die Kugelfläche *r d c* nach

einem gröfsten Kreife vom Halbmeffer $c\,h$ gefchnitten. Die auf $1\,K_1$ entfallende wagrechte Projection des Halbmeffers $c\,g$ liefert die halbe kleine Axe des in der Grundrifs-Projection als Ellipfe auftretenden gröfsten Kreifes der Ebene $c\,N$, während die halbe grofse Axe diefer Ellipfe unverändert gleich $1\,I = 1\,d = c\,g$ bleibt. Eben fo wird die wagrechte Projection $2\,h_1$ von $c\,h$ auf $2\,K_2$ die halbe kleine Axe und $2\,II$ die halbe grofse Axe der für den in der Ebene $c\,N$ liegenden gröfsten Kreis vom Halbmeffer $c\,h$ in der Grundrifs-Projection in Frage kommenden Ellipfe.

Diefen Axen entfprechend find die beiden in i_1 auf $d\,s$ fich fchneidenden Viertelellipfen $g_1\,I$ und $h_1\,II$ gezeichnet. Sie liefern, in $i_1\,g$ und $i_1\,h_1$, fo weit die Kappenflächen $q\,d\,s$ und $r\,d\,s$ dabei überhaupt in Betracht kommen, die Grundrifs-Projection der Lagerkante für eine in der Normalebene $c\,N$ enthaltene Lagerfugenfläche einer Wölbfchicht.

Fig. 509.



Für eine andere Normalebene $c\,m$ entftehen die Lagerkanten $m_1\,n_1\,l_1$ als Theile von Ellipfen mit den Halbaxen $1\,I$, $1\,m$ für $m_1\,n_1$ und $2\,II$, $2\,l_1$ für $n_1\,l_1$.

Auf gleichem Wege laffen fich unter Beachtung von Fig. 508 (S. 444) auch die Lagerkanten der Wölbfchichten beftimmen, wenn ftatt einer Gratkante die beiden Anfatzlinien an den Seitenflächen der Diagonalrippe berückfichtigt werden müffen.

Die Breite jeder einzelnen Wölbfchicht nimmt von den fenkrechten Ebenen der vorhin erwähnten Kugelaxen $1\,K_1$ und $2\,K_2$ nach beiden Seiten hin gemeffen ab. Für Quadermaterial ift diefe Veränderung der Breite unbedingt zu berückfichtigen. Für die Theilung der Anfatzlinie der Kappen am Diagonalbogen C können gleich grofse Theilweiten eintreten. Die Theilpunkte beftimmen alsdann die Richtung der zugehörigen Normalebenen und bedingen damit die Breite der an die Randbogen A und B ftofsenden Wölbfchichten.

307. Wölbung aus Back- und Bruchsteinen.

Beim Einwölben der Kappen mit Backsteinen oder mit dünnen lagerhaften Bruchsteinen können bei nicht sehr weit gespannten Gewölben die Veränderungen in der Breite der an sich schmalen Wölbscharen durch eine geringe Verstärkung der Mörtelfugen ausgeglichen werden. Bei Spannweiten, welche über das gewöhnliche Mass hinaus gehen, kann diese Veränderung der Breite jedoch das mehrfache Verhauen und das weniger einfache Zurichten der Wölbsteine im Gefolge haben. In solchen Fällen bringt man, zur Vermeidung des lästigen, auch zeitraubenden Verhauens der Steine und zur Verhinderung einer unregelmässigen Gestaltung der Kugelflächen der Kappen, entweder besonders geformte Wölbsteine in Anwendung, oder man giebt die Lage der Wölbschichten in Normalebenen zum Diagonalbogen ganz auf und wählt eine andere, den früher besprochenen Anordnungen entsprechende Bildung der Wölbschichten.

Für die Stossfugenflächen ist die Veränderung der Breite der Wölbscharen nicht von grossem Belang. Diese Flächen werden in der Regel den senkrecht gestellten Meridianebenen der Kugelflächen der Kappen zugewiesen.

Die Ansatzflächen der Rippenkörper gehören Kegelflächen an. Sie werden durch die Fortbewegung der entsprechend verlängert gedachten Halbmesser der Kugellaibungen an den für die Rippen bestimmten Ansatzlinien der Kappen erzeugt.

Meistens ergiebt die gesetzmässige Gestaltung der Kappen nach reinen Kugelflächen auch eine günstig erscheinende Busung und eine gute Form der Scheitellinie.

308. Kappen mit kugelförmiger Laibung.

Sollen die Laibungsflächen der Gewölbekappen jedoch nicht als reine Kugelflächen ausgebildet werden, sollen dieselben vielmehr durch Einführung einer besonders gestalteten Busung eine Umwandelung in kugelähnliche (sphäroidische) Flächen erfahren; so findet auch bei diesen Kappen im Allgemeinen die Anordnung der Lagerflächen der Wölbschichten nach Normalebenen zum Diagonalbogen Anwendung.

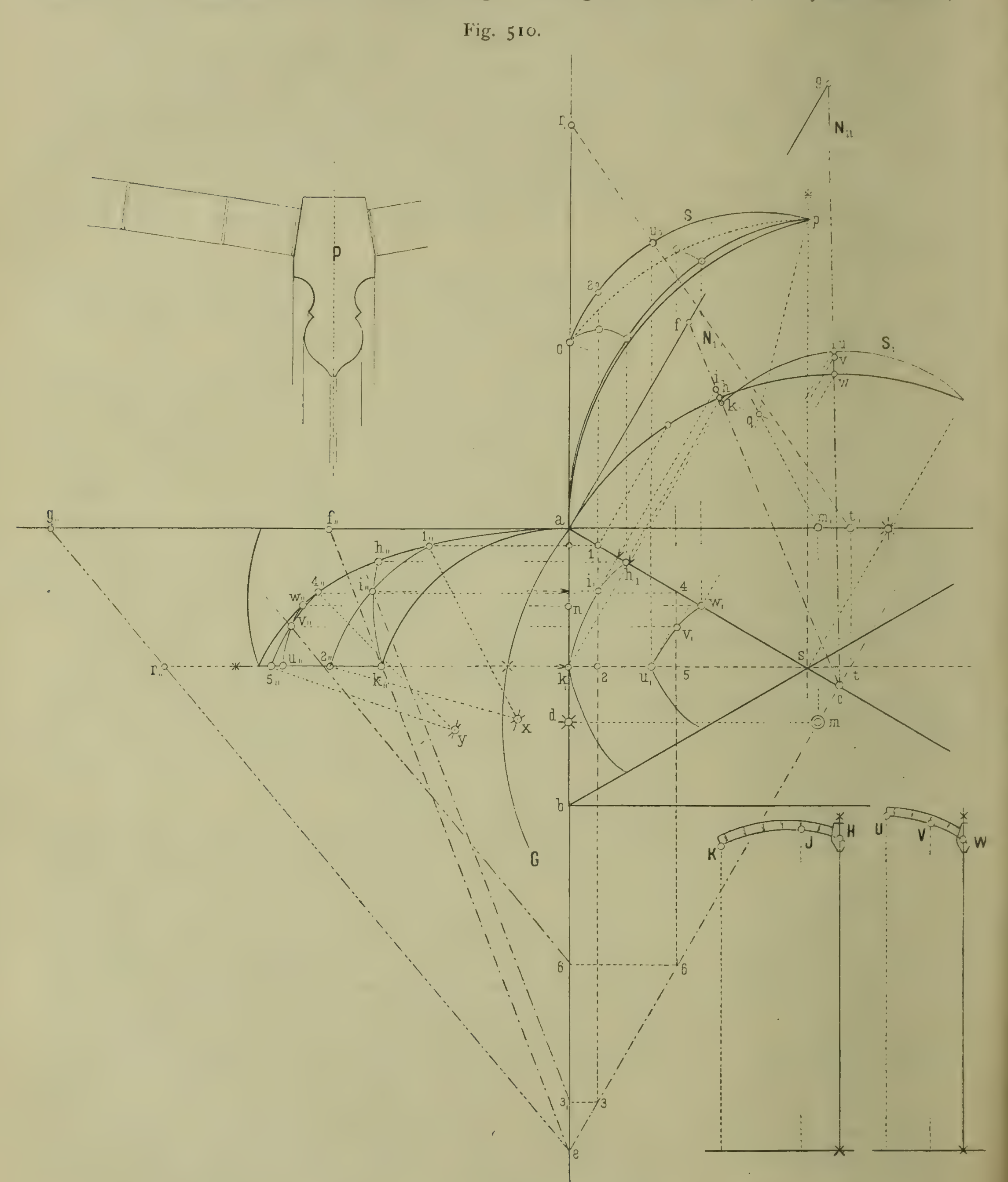
Da in der Regel die Rand- und Diagonalbogen als nach Kreisbogen geschlagene Spitzbogen beibehalten werden, so hängt die Gestaltung der Laibungsflächen der sphäroidischen Kappen in erster Linie von der Grösse der Busung ab, welche den Wölbflächen gegeben werden soll. Sowohl ein übertriebenes, als auch ein zu geringfügiges Mass dieser Busung soll vermieden werden.

In Fig. 510 ist ein allgemein gehaltenes Verfahren gezeigt, wonach die Gestaltung einer sphäroidischen Kappe *abs* unter Annahme einer frei gewählten Busung vorgenommen ist. Der Grundriss des Gewölbefeldes sei ein Rechteck.

Die Ansatzlinien des Kappenstückes über $ak_,s$ sind am Randbogen über $ak_,$ mit dem Halbmesser da um d, am Diagonalbogen über as mit dem Halbmesser ca um c beschriebene Kreisbogen. Die Ansatzlinie am Randbogen über $am_,$ ist ein Spitzbogen, wovon ap einen Schenkel darstellt. Sämmtliche Mittelpunkte dieser Ansatzlinien liegen in der wagrechten Kämpferebene. Die Scheitelhöhe der Randlinie ap möge gleich der Scheitelhöhe der Ansatzlinie an der Diagonalrippe sein; die Kappe $am_,s$ zwischen diesen beiden Ansatzlinien möge eine reine Kugelfläche bleiben. Ihre weitere Gestaltung soll hier nicht mehr berücksichtigt werden. Der Scheitelpunkt $k_{,,}$ der Ansatzlinien am Randbogen der schmalen Rechtecksseite ab liegt wesentlich tiefer, als der Scheitel der Ansatzlinien über as, bezw. über bs. Die von diesen Ansatzlinien begrenzte Kappe über abs soll eine sphäroidische Laibungsfläche erhalten. Für die Bestimmung dieser Fläche ist nur die über $ak_,s$ gelegene Kappenhälfte in Betracht gezogen. Würde man die Laibung dieser Kappe als Kugelfläche behandeln, so würde m der Mittelpunkt derselben, G ihr grösster Kreis und die über $k_,s$ liegende Scheitellinie der um $m_,$ mit dem Halbmesser $m_,o = m_,p$ beschriebene, punktirt gezeichnete Kreisbogen op sein. Soll nun, entsprechend einer einzuführenden stärkeren oder geringeren Kappenbusung, eine Umwandelung dieser Scheitellinie op stattfinden, so kann dieselbe durch irgend einen höheren oder flacheren Kreisbogen ersetzt werden oder auch durch irgend eine andere, nach oben stärker oder weniger stark gebogene, jedoch gesetzmässig gestaltete Linie, wobei nur die Punkte o und p als Endpunkte unverändert bleiben müssen. Meistens wird für diese Scheitellinie ein Kreisbogen

genommen. In der Zeichnung iſt dieſelbe als Kreisbogen S mit beliebig gewähltem Halbmeſſer $oq = pq$ um q beſchrieben. Durch dieſe Scheitellinie S und durch die Anſatzlinien über ak, und as ſind die Begrenzungslinien der ſphäroidiſchen Kappenfläche über ak, s feſt gelegt. Für die Erzeugung dieſer Fläche ſelbſt iſt ein beſtimmtes Geſetz zu Grunde zu legen. Hier gelte die Vorſchrift, daſs jede Schnittlinie,

Fig. 510.



welche auf dieſer Fläche durch irgend eine parallel zur ſenkrechten Ebene des Randbogens der Seite ab geführte Ebene hervorgerufen wird, ein Kreisbogen ſein ſoll, deſſen Halbmeſſer ſtets die Gröſse des Halbmeſſers da der Anſatzlinie $ak_{,,}$ behält. Dieſer Bedingung entſprechend, ſind z. B. vermittels der Ebenen in $1\,2$ und $4\,5$, nach Ausführung einfacher zeichneriſcher Darſtellungen, welche ſofort aus der Zeichnung zu erkennen ſind, die erzeugenden Schnittlinien $1_{,,}\,2_{,,}$ und $4_{,,}\,5_{,,}$ beſtimmt. Iſt auf dem angegebenen

Wege die Erzeugung und Darftellung einer fphäroidifchen Gewölbfläche vorgenommen, fo läfft fich ohne Schwierigkeit die Ausmittelung der Lager- und Stofskanten der Wölbfchichten bewirken, je nachdem diefe oder jene der befprochenen Anordnungen für den Fugenfchnitt der Wölbung getroffen werden foll. In der Zeichnung entfprechen die Projectionen $h_, i_, k_,$, $h_{,,} i_{,,} k_{,,}$, fo wie $w_, v_, u_,$, $w_{,,} v_{,,} u_{,,}$ den Lagerkanten von Wölbfchichten, welche den Normalebenen $N_,$, bezw. $N_{,,}$ zum Diagonalbogen angehören. Die Beftimmung diefer Projectionen erfolgt nach bekannten einfachen Sätzen der darftellenden Geometrie. Das Nähere hierfür ift in der Zeichnung angegeben. Für das Austragen der wirklichen Geftalt der Wölblinien als *HJK* und *WVU* der Normalebenen $N_,$ und $N_{,,}$, fo wie des wirklichen Querfchnittes *P* der Diagonalrippe mit den entftehenden Anfatzflächen, welche in gleichem Sinne ftattfinden kann, wie bei Fig. 453 (S. 390) angeführt ift, giebt die Zeichnung ebenfalls unmittelbar die nöthigen Anhaltspunkte.

β) Bufige Kappen mit Stelzung.

309. Geftaltung.

Liegen die Mittelpunkte der für das Rippenfyftem der gothifchen Kreuzgewölbe vorgefchriebenen, meiftens nach Spitzbogen geformten Anfatzlinien der Laibungsflächen der Gewölbkappen nicht in einer gemeinfchaftlichen Kämpferebene, bezw. nicht in ein und derfelben Grundebene, oder find von vorn herein beftimmte Anfatzlinien in ihren Scheitelpunkten in Bezug auf den höchften Punkt des ganzen Gewölbkörpers in höherem oder geringerem Grade zu heben oder zu fenken; fo erhalten diefe Anfatzlinien durch im Allgemeinen in lothrechter Richtung angefügte Fufslinien eine Stelzung. Diefe Stelzung ift fowohl für die Geftaltung und die Art des Einwölbens der Kappen, als auch für die Entwickelung und Conftruction der Rippenanfänge von Bedeutung.

Durch die Anfatzlinien find die Leitlinien für die Erzeugung der Kappenflächen gegeben. Die Geftaltung der bufigen Flächen hängt ab von der Form der als Erzeugende gewählten krummen Linie, von dem Gefetze ihrer Bewegung an den gegebenen Leitlinien und in vielen Fällen noch von dem Gefetze, wonach die Form der Erzeugenden einer Veränderung während ihrer Bewegung unterworfen werden mufs.

310. Beifpiel I.

Im Folgenden follen an einigen Beifpielen die für die Geftaltungen bufiger Kappenflächen mit Stelzung erforderlichen wichtigften Grundzüge mitgetheilt werden.

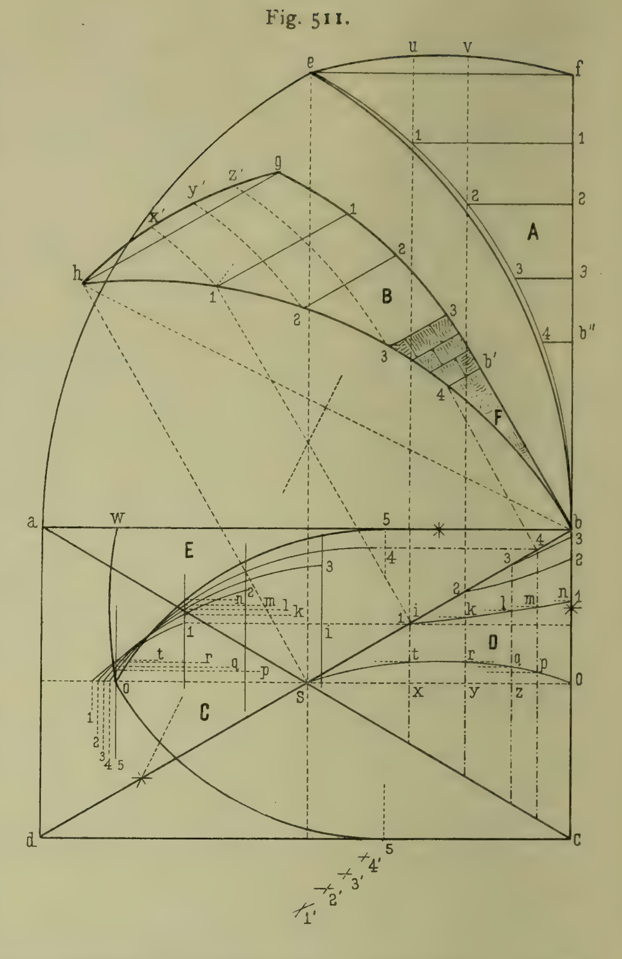
Das Kreuzgewölbe über dem rechteckigen Gewölbefelde *abcd* (Fig. 511) foll in den Scheitelpunkten der fpitzbogigen Anfatzlinien der Randbogen eine gleiche Höhenlage mit dem Scheitel der gleichfalls fpitzbogigen Anfatzlinien am Diagonalbogen erhalten. Die als gegeben angefehene Form diefer Anfatzlinien möge eine Stelzung der Anfatzlinie *5o5* des Randbogens der fchmalen Rechteckfeite *bc* um eine lothrechte Strecke $bs = bb_, = bb_{,,}$ erforderlich machen, während die Anfatzlinie *bca* am Randbogen der langen Seite *ab* ohne Stelzung bleibt.

Die Gewölbkappen an den langen Seiten können alfo ohne Weiteres nach den im Art. 301 (S. 435) unter α gemachten Mittheilungen geftaltet werden. Die Scheitellinie diefer Kappen fei der Kreisbogen *ow*. Die Gewölbkappen *C* und *D* der fchmalen Seiten, wovon hier nur die Kappe *D* berückfichtigt wird, follen bufige Laibungsflächen mit Stelzung erhalten. Die frei gewählte Scheitellinie diefer Kappen fei der Kreisbogen *ef*.

Wie fofort aus der Darftellung eines Schnittes nach der Richtung der Diagonale *bd* hervorgeht, bildet fich im Theile *F* der Kappe *D* eine am Fufse in einem Punkte begrenzte lothrechte Ebene, deren Höhe $bb_,$ der Strecke der Stelzung *b5*, deren obere Breite der Länge der wagrechten Linie $b_, 4$ entfpricht. Oberhalb diefer Wagrechten $b_, 4$ möge die bufige Laibungsfläche *B* der Kappe *D* beginnen. Die Erzeugende diefer Fläche fei ein Kreisbogen, deffen Halbmeffer unveränderlich und gleich dem Halbmeffer *55* = *cb* der Anfatzlinie *5o* bleibt. Aufserdem foll diefe Erzeugende bei ihrer Fortbewegung an der Anfatzlinie *bh* des Diagonalbogens in Ebenen parallel zur Ebene der Anfatzlinie *b5o5c* des Randbogens über *bc* und in ihrem höchften Punkte in der Scheitellinie *fe* der Kappe *D* verbleiben. Führt man zur Befolgung diefes Gefetzes durch den beliebigen Punkt *x* der Geraden *os* eine Ebene

parallel zur Seitenebene bc, fo wird die Leitlinie bh, bezw. ihre andere Projection $b4e$ in 1, die Scheitellinie ef in u gefchnitten. Trägt man weiter auf oo die Höhenlage 11 des Punktes 1 der Leitlinie bh von o aus ab, zieht man entfprechend die wagrechte Gerade E, fo wird in derfelben der Punkt 1 als Lage eines Punktes der gefetzlich vorgefchriebenen Erzeugenden, wie aus der Zeichnung zu erfehen ift, bekannt. Ein zweiter Punkt ift in 1 auf der verlängerten Geraden oo enthalten. Die Höhe $o1$, von bc aus gemeffen, mufs der lothrechten Entfernung des Punktes u auf der Scheitellinie ef von der Spur ab der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes gleich fein.

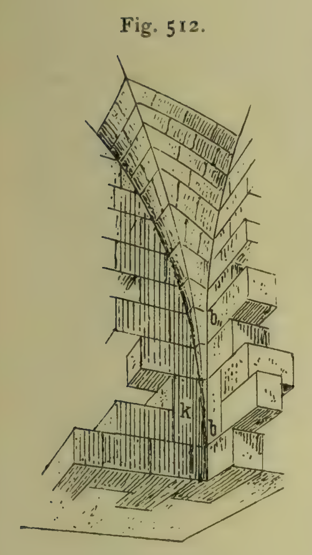
Fig. 511.



Befchreibt man aus diefen beiden Grenzpunkten 1 und 1 mit dem mafsgebenden Halbmeffer $55 = cb$ des Spitzbogens 505 den Kreuzrifs $1_{,}$, fo ift der um $1_{,}$ gefchlagene Kreisbogen 11 diejenige Erzeugende, welche der durch x geführten Ebene zukommt. In gleicher Weife find die Erzeugenden 22 mit dem Mittelpunkte $2_{,}$, 33 mit dem Kreuzriffe $3_{,}$ u. f. f. für die durch y, bezw. z u. f. f. parallel zu bc gelegten Ebenen beftimmt. Zur weiteren Darftellung der Kappenfläche D find oberhalb von 55 durch den Punkt o und durch die unteren Endpunkte $1, 2, 3$ u. f. f. der ermittelten Erzeugenden 11, 22, 33 u. f. f. wagrechte Ebenen gelegt. Die Durchftofspunkte o, t, r, q u. f. f. mit der wagrechten Ebene o liefern die lothrechten Projectionen einer Wölblinie der bufigen Kappe in diefer Ebene. Die wagrechte Projection diefer Wölblinie ift alfo, wie die Zeichnung erklärt, durch den Linienzug $strqpo$ feft zu legen. Genau fo ergiebt fich in Bezug auf die übrigen wagrechten Ebenen das Erforderliche zur Darftellung der wagrechten Projectionen der zugehörigen Wölblinien, wie $iklmn$ für die Ebene E oder $1, 22$ für die Ebene 2 u. f. f. In den lothrechten Projectionsebenen A und B erfcheinen diefe Wölblinien als gerade, parallel zu ab, bezw. bd geführte Linien ef, bezw. hg, 11 u. f. f. Nimmt man an der Anfatzlinie bh des Diagonalbogens oberhalb der wagrechten Abfchlufskante $4b_{,}$ der lothrechten Wandfläche F eine Eintheilung in Wölbfchichten vor, deren Lagerkanten in wagrechten Ebenen liegen follen, fo kann man unter Beachtung des Gefagten die Grundrifs-Projectionen diefer Lagerkanten zeichnen. Die zugehörigen Lagerflächen werden windfchief; denn die erzeugenden geraden Linien diefer Lagerflächen gehen z. B. für die Lagerkante $iklmn$ im Elemente i durch $1_{,}$ der Ebene x, im Elemente k durch $2_{,}$ der Ebene y u. f. f.

Für das Einwölben aus Quadermaterial würde hiernach die Bearbeitung der Lagerflächen der Wölbfteine einzurichten fein. Eine befonders kräftige Mauer-Conftruction erfordert der Gewölbefufs an der lothrechten Wand F, welcher als gemeinfamer Anfänger für die Bogen- und Kappenftücke an den Ecken des Gewölbefeldes am beften ftets aus Quadern hergeftellt wird, felbft wenn die bufige Kappe oberhalb $4b_{,}$ aus Backfteinen gewölbt werden foll. Gröfsere Binder wie $b_{,,}$, k (Fig. 512), an welchen die Bogenlinien und Kappenflächen gleich mit angearbeitet werden, greifen möglichft tief in den Mauerkörper der Ecke b ein. Daffelbe gilt auch für Gewölbanfänger mit profilirten Rippen.

Soll oberhalb der Grenzlinie $4b_{,}$ der Wand F die Wölbung aus Backftein


Fig. 512.

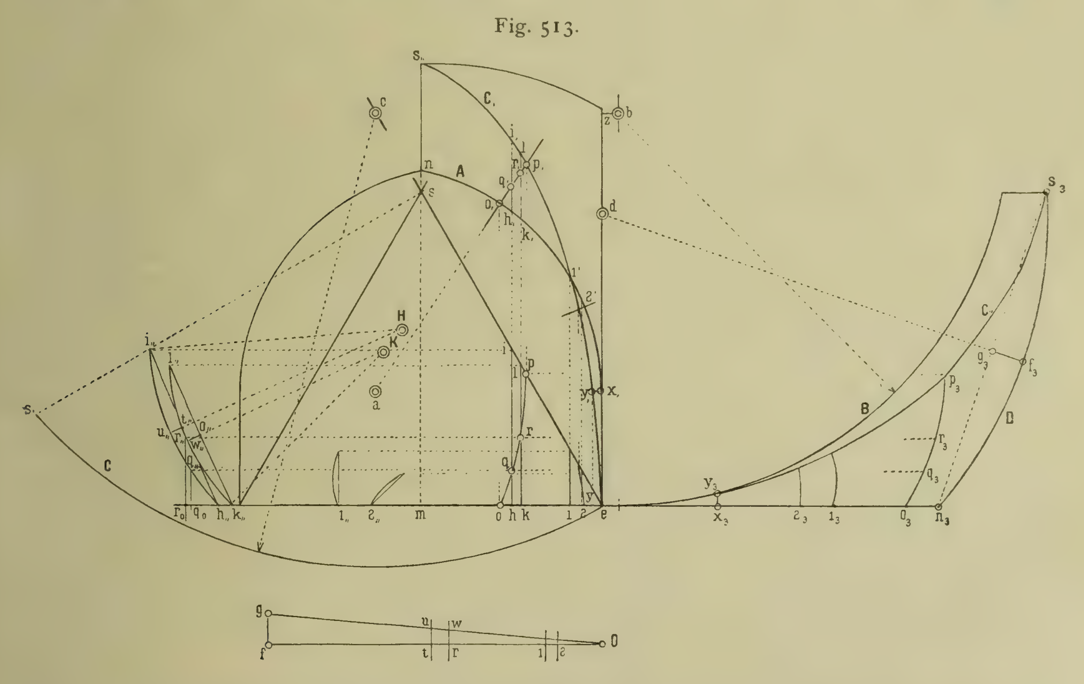
ausgeführt werden, ſo kann entweder der Fugenſchnitt nach Normalebenen zum Randbogen oder zum Gratbogen in Anwendung kommen. Da die Geſtalt der Gewölbefläche durch die Projectionen ihrer Leitlinien, der erzeugenden Kreisbogen und der in wagrechten Ebenen liegenden Schnittlinien vollſtändig beſtimmt iſt, ſo laſſen ſich auch die einzelnen, jenen Fugenſchnitten angepaſſten Wölbſchichten und eben ſo ihre Anſatzflächen an den Rippenkörpern auf zeichneriſchem Wege, wie im Vorhergegangenen gezeigt iſt, leicht darſtellen. Dieſe Ausmittelungen ſind alsdann für die praktiſche Ausführung der Gewölbekappen weiter zu verwerthen.

311. Beiſpiel 2.

Das Beſtreben, die ſphäroidiſchen Laibungsflächen der geſtelzten Gewölbekappen einer reinen Kugelfläche möglichſt nahe zu bringen, führt dazu, die Erzeugenden als Kreisbogen anzunehmen, deren Pfeilverhältniſs proportional wird dem Pfeilverhältniſs des als Scheitellinie der geſtelzten Kappe vorgeſchriebenen Kreisbogens. Die Ebenen der einzelnen Erzeugenden ſind dabei parallel der ſenkrechten Ebene der Scheitellinie.

In Fig. 513 ſei A die mit dem Halbmeſſer ax um a beſchriebene, in ex, geſtelzte Anſatzlinie eines Randbogens, der Kreisbogen C mit dem Mittelpunkte c die nicht geſtelzte Anſatzlinie am Diagonal-

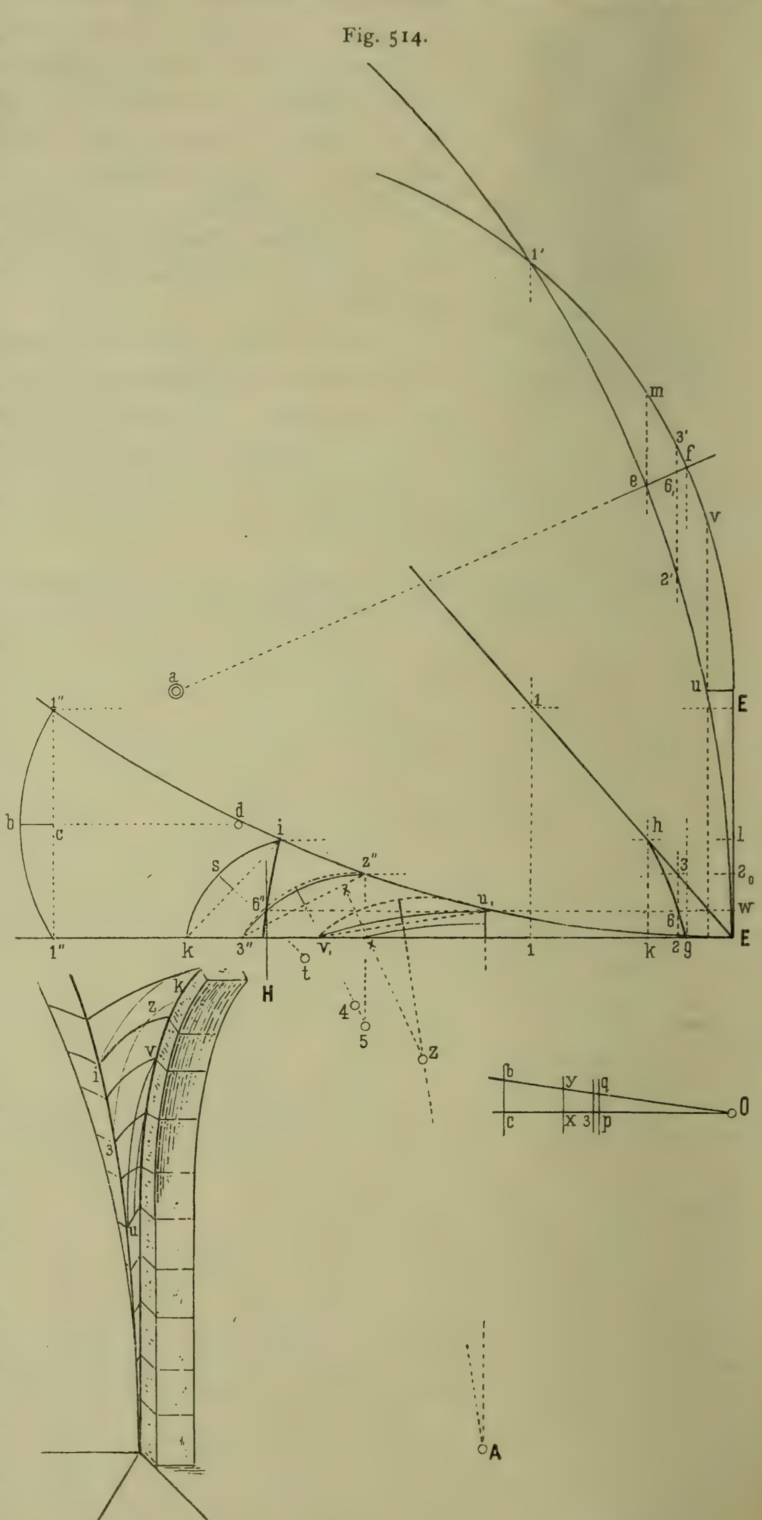
Fig. 513.



bogen, der um den Punkt b beſchriebene Schenkel B eines um die Strecke zb geſtelzten Spitzbogens die Anſatzlinie des Randbogens der Seite ez und D die in der Ebene ms liegende, als Kreisbogen mit dem in der Kämpferebene befindlichen Mittelpunkte d gewählte Scheitellinie der Kappe ems. Das Pfeilverhältniſs dieſer Scheitellinie iſt $\frac{f_3 g_3}{n_3 s_3}$. Daſſelbe iſt im Plane O, worin $fg = f_3 g_3$ und $Of = n_3 s_3$ aufgetragen iſt, nochmals angegeben. Führt man parallel zur Ebene ms der Scheitellinie an beliebiger Stelle, z. B. hi, eine die buſige Kappe ems ſchneidende Ebene, ſo ergiebt dieſelbe auf der Anſatzlinie A

den Punkt $h_{,}$, auf der Projection $C_{,}$ der Anfatzlinie C den Punkt $i_{,}$. Trägt man auf den in h und i zu hi errichteten Lothen die Strecken $hh_{,,} = hh_{,}$ und $ii_{,,} = hi_{,}$ ab, fo läfft fich die Gerade $h_{,,} i_{,,}$ als Sehne eines Kreisbogens anfehen, welcher, mit dem von der Scheitellinie abhängigen Pfeilerverhältniffe behaftet, eine Erzeugende der fphäroidifchen Kappe bildet. Das Pfeilverhältnifs foll proportional dem Pfeilverhältnifs der Scheitellinie fein. Nimmt man $Ot = h_{,,} i_{,,}$, fo ergiebt die in t parallel zu fg gezogene Linie tu die gefuchte Pfeilhöhe der erzeugenden Bogenlinie. Das in der Mitte $t_{,,}$ auf $h_{,,} i_{,,}$ errichtete Loth erhält die Länge $t_{,,} u_{,,} = tu$. Der durch die drei Punkte $h_{,,} u_{,,} i_{,,}$ gelegte Kreisbogen mit dem Mittelpunkt H liefert die gewünfchte Erzeugende. In gleicher Weife find die Erzeugenden $k_{,,} l_{,,}$, $1_{,,}$ und $2_{,,}$ für die Ebenen kl, 1 und 2 aufgetragen. Für die Ebene 1 ift $1_{,}$ die gemeinfchaftliche lothrechte Projection ihrer Schnitte mit den Anfatzlinien A und $C_{,}$. Die Sehne der zugehörigen erzeugenden Kreislinie $1_{,,}$ liegt wagrecht. Die obere Begrenzungslinie $x_{,} y_{,}$ der durch die Stelzung ex, entftehenden lothrechten Fläche $ex_{,} y_{,}$ mit der Grundrifs-Projection ey auf es bleibt eine unveränderliche wagrechte Gerade. Diefelbe bildet als Fufslinie der bufig geformten Kappenfläche eine Grenze für die Ausmittelung der erzeugenden Kreislinien innerhalb des Kappentheils $x_{,} y_{,}$ bis $1_{,}$. Setzt man in diefem Theile das angegebene Verfahren für die Beftimmung der Erzeugenden fort, fo ergiebt fich, dafs diefelben im Allgemeinen in einiger Entfernung über der Grenzlinie $x_{,} y_{,}$ mit einem gröfseren oder geringeren Bogenftücke über die Anfatzlinie des einen oder anderen Rippenkörpers hinwegfallen, alfo nunmehr als Erzeugende der Kappenfläche ohne Weiteres nicht beibehalten werden können.

Fig. 514.



Um dennoch eine gefetzmäfsige Erzeugung und bildliche Darftellung der in Frage kommenden Fläche und damit die Grundlagen für eine fachgemäfse Ausführung ihres Gewölbkörpers zu erzielen, läfft man eine weitere Veränderung der bezeichneten Erzeugenden eintreten.

Ift in Fig. 514 *u, 1,, 1,,* der Kappentheil, wofür nach und nach eine Veränderung der erzeugenden Kreisbogen erforderlich wird, fo kann diefe Veränderung z. B. für die lothrechte Ebene *23* in der folgenden Weife bewirkt werden. Die Ebene *23* liefert auf der Anfatzlinie *E 1,,* des Diagonalbogens den Schnitt *2,,,* wofür $2_0\,2_{,,} = 2\,2,$ aus der Zeichnung zu entnehmen ift, und auf der Anfatzlinie *E k 1,,* des Randbogens den Schnitt *3,,,* wofür $E\,3_{,,} = 2\,3,$ wird. Die Gerade *3,, 2,,* ift die Sehne des erzeugenden Kreisbogens. Nimmt man im Hilfsplane *O b c* die Beftimmung der Pfeilhöhe diefes Bogens nach proportionaler Theilung wie früher vor, fo wird, wenn *O c* gleich der Sehne *1,, 1,,* und *cb* die Pfeilhöhe des Kreisbogens *1,, b 1,,* ift, bei der Länge *O 3* gleich der Sehne *3,, 2,,,* die in *3* parallel zu *cb* gezeichnete, von *O c* und *O b* begrenzte Gerade, die gefuchte Pfeilhöhe ergeben. Der mit diefer Pfeilhöhe behaftete, punktirt eingetragene Kreisbogen, deffen Mittelpunkt in *4* zu beftimmen war, fchneidet die Anfatzlinie des Diagonalbogens jedoch in unmittelbarer Nähe über *2,,,* was für die Bildung der Kappenfläche unzuläffig ift. Für eine weitere Ausmittelung der Erzeugenden *u, v,* der lothrechten Ebene *u v,* wobei der Mittelpunkt *z* gefunden wurde, ift ein derartiges Durchfchneiden noch ftärker bemerkbar. In diefen Fällen find die Ordinaten $2_0\,2_{,,},$ *w u,* der Endpunkte *2,,* der Sehne *3,, 2,,* und *u,* der Sehne *v, u,* als lothrechte Tangenten für die zugehörigen, nunmehr einer Veränderung zu unterwerfenden erzeugenden Kreisbogen anzunehmen.

Hiernach wird *5* als Schnitt des im Halbirungspunkte der Sehne *3,, 2,,* errichteten Lothes mit der durch *2,,* gezogenen Wagrechten der Mittelpunkt des einzuführenden erzeugenden, hier voll gezeichneten Kreisbogens *3,, 2,,* und *A* auf der durch *u,* ziehenden wagrechten Linie der Mittelpunkt der verwendbaren Erzeugenden *v, u,*.

Für die Erzeugenden unterhalb des Kreisbogens *v, u,* find die zugehörigen Mittelpunkte auf der Geraden *u, A* zu beftimmen, fobald nur wieder die Schnitte lothrechter, parallel zu *23* geführter Ebenen mit der Anfatzlinie *E k 1,,* und der wagrechten Grenzlinie *u,* bezw. *u,* der lothrechten Stelzungswand ermittelt find.

Nach der gewonnenen Darftellung der Laibungsflächen der geftelzten bufigen Kappen bietet die Ausmittelung des Fugenfchnittes für ihre Einwölbung keine Schwierigkeiten mehr.

Soll z. B. eine Wölbung nach Normalebenen zum Randbogen vorgenommen werden, fo können die Lagerfugenkanten in ihren Projectionen, wie für eine Ebene *ap,* in Fig. 513 oder für *af* in Fig. 514, auf bekanntem, in der Zeichnung unmittelbar verfolgbarem Wege feft gelegt werden.

312. Beifpiel 3.

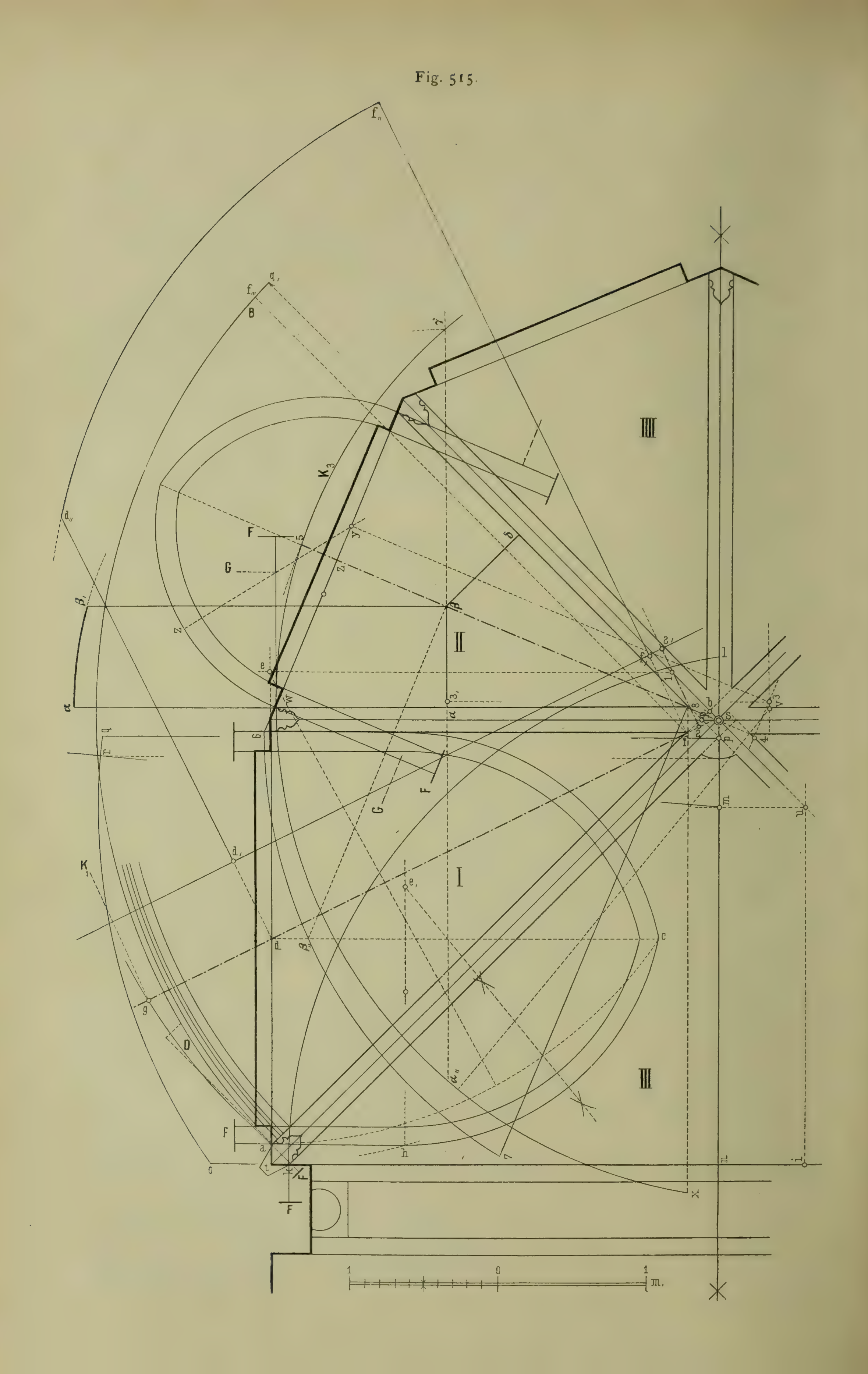
Für eine Vereinigung nicht geftelzter Kappen mit einer gröfseren Anzahl geftelzter Kappen unter der Bedingung einer möglichft ftarken Annäherung ihrer Laibungsflächen an reine Kugelflächen, wobei namentlich die Scheitellinien in innige Beziehung zu diefen Flächen zu bringen find, follen unter Benutzung von Fig. 515 die wichtigften Anhaltspunkte gegeben werden.

Das im Grundriffe zur Hälfte dargeftellte Gewölbe befteht aus 7 durch Rippen gefchiedenen Gewölbekappen von dreieckiger Grundform mit gemeinfchaftlichem, über *s* liegendem Scheitel. Aus befonderen architektonifchen Gründen müffen die Anfatzlinien an den Randbogen der Kappen mit der Anordnung *I, II, IV* um eine Höhe *w G* geftelzt werden, während die Anfatzlinie am Randbogen (Gurtbogen) der Seite *ki* für die Kappe *III* nicht geftelzt werden darf. Eben fo erhalten die Anfatzlinien an den Diagonalen, ausgenommen jedoch an den Rippen über *st* und *su,* diefelbe Stelzung *w G.* Die Fufspunkte der fämmtlichen Anfatzlinien follen aber in einer und derfelben wagrechten Kämpferebene *F* angenommen werden, welche um eine lothrechte Höhe *a F* unter der eigentlichen Grundebene *G* liegt. Diefe Grundebene enthält die Mittelpunkte der nicht geftelzten Anfatzlinien für die Rippen *st, su* und für den Gurtbogen *k i.*

Die Ebene *F* bedingt demnach nur eine gleichmäfsige Ueberhöhung, fowohl für die geftelzten, als auch für die nicht geftelzten Anfatzlinien der gefammten Gewölbekappen.

Für die Geftaltung der Laibungsflächen diefer Kappen ift die Anfatzlinie über *a f* an der Diagonalrippe *st* als grundlegend, und zwar als der um *b* mit dem Halbmeffer *b a* befchriebene Viertelkreis *B* gewählt.

Fig. 515.

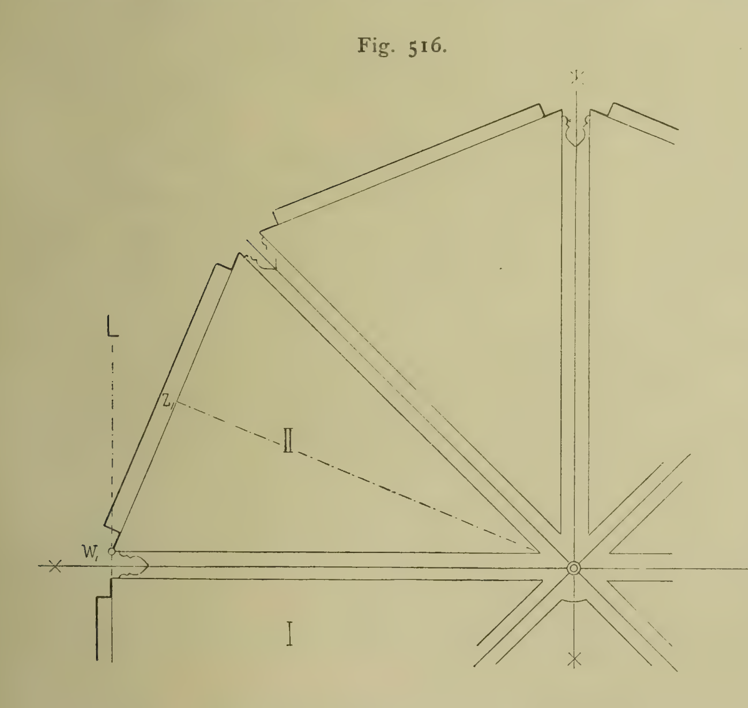


Sollte die Kappe I bei der von vornherein gegebenen Höhe cd einer an der Seite ag zu bildenden Anfatzlinie ohne Rückficht auf ihre Stelzung eine Kugelfläche als Laibung erhalten, fo würde ein Spitzbogen, wovon ein Schenkel ac mit dem Mittelpunkte e punktirt eingetragen ift, die erforderliche Anfatzlinie werden können. Alsdann ift der Mittelpunkt der Kugelfläche der Kappenhälfte afd der Schnitt 1 der in b auf ab und in e auf ae errichteten Lothe. Die Punkte a, b, e und 1 liegen in der Grundebene G. Der um 1 mit dem Halbmeffer $1a$ befchriebene Kreisbogen ag ift ein Stück des gröfsten Kreifes diefer Kugelfläche. Der Schnitt einer in der Richtung fd geführten lothrechten Ebene liefert nach Beftimmung des Punktes 2 den Kreisbogen der Scheitellinie der Kappe I. Diefer Kreisbogen ift befonders als $d_{,,}f_{,,}$ ausgetragen und mit dem Halbmeffer $2_{,}k_{,} = 2g$ um $2_{,}$ befchrieben. Als Probe der Richtigkeit mufs bekanntlich $f_{,}f_{,,} = ff_{,,,}$ und $d_{,}d_{,,} = dc$ erhalten werden.

Die Rückficht auf das Einführen eines ftumpferen Spitzbogens als Anfatzlinie am Randbogen der Seite ag und die gebotene Anordnung einer Stelzung verlangen jedoch eine Umformung des vorläufig als Hilfslinie benutzten, nicht geftelzten Spitzbogens ac. Diefes neue Geftalten der Anfatzlinie kann ohne Veränderung der bereits ermittelten Scheitellinie $d_{,,}f_{,,}$ vorgenommen werden. Nimmt man die Lothrechte ah gleich der Stelzung wG, ermittelt man auf der durch h gelegten wagrechten Linie he, den Mittelpunkt e, des durch h und c gehenden Kreisbogens hc, fo erhält man den geftelzten ftumpferen Spitzbogen $ahcg$ als Anfatzlinie am Randbogen der Seite ag. Die Anfatzlinie am Diagonalbogen fg erfährt eine Stelzung wG; ihre Form wird aber von der Geftalt der Anfatzlinie der Kappe II an demfelben Diagonalbogen fg abhängig, und zwar follte fie in erfter Linie in Rückficht auf eine lothrechte Ebene $8w$ mit den in diefe Ebene projicirten, als Kreisbogen zu befchreibenden Begrenzungslinien der Rippenprofile des Diagonalbogens concentrifch fein. Die Punkte f und 8, auch die Punkte w und g, haben paarweife gleiche Höhenlage über der Grundebene G.

Liegt nun in Folge eines Einfchneidens der Seite wz in die Fufsfläche des Rippenprofils des Diagonalbogens der Punkt w mit dem Punkte g nicht in einer und derfelben lothrechten Ebene, wie hier, um dabei auf einen gewiffen Nachtheil hinweifen zu können, angenommen ift, fo kann offenbar die von f nach g zu führende, etwa als Kreisbogen zu beftimmende Anfatzlinie der Kappe I am Diagonalbogen nicht mehr concentrifch mit der Anfatzlinie $8w$ verlaufen. Es entftände vielmehr an der lothrechten Profilebene der Seite gf des Diagonalbogens eine fichelförmige Fläche, welche bei einer unteren Breite gleich dem Abftande der beiden lothrechten Ebenen wF und ae zuletzt bei f in einer Spitze endigt. Kommen auch derartige Anfatzbildungen vor, fo laffen fich diefelben doch meiftens vermeiden, wenn vorweg eine regelmäfsige Geftaltung der Fufsfläche des Rippenkörpers $8fwg$, worauf fchon in Art. 293 (S. 427) hingewiefen ift, wie hier z. B. durch ein Zufammentreten der lothrechten Ebene ae mit der Ebene wF herbeigeführt wird. Verlegt man den Schnitt w von wz mit ae nach Fig. 516 derart, dafs durch ein geringfügiges Verrücken der Linie wz nach $w_{,}z_{,}$ der Punkt w nach $w_{,}$ in die Linie L fällt, welche mit der Geraden ae in Fig. 515 übereinftimmt, fo ift eine regelmäfsig geftaltete Fufsfläche des profilirten Rippenkörpers zu fchaffen. Grundriffe und Deckenbildung gehen in Rückficht auf conftructive Anordnungen alsdann Hand in Hand.

Fig. 516.



Sind die Anfatzlinien der Kappe I feft gelegt, fo wird die Geftaltung ihrer Laibungsfläche unter

Beibehalten der Scheitellinie $d_{,,} f_{,,}$ und der lothrechten Stelzfläche *D* am Diagonalbogen nach dem in Art. 311 (S. 453) Gefagten bewirkt. Die Laibungsfläche ift fphäroidifch; fie nähert fich der reinen Kugelfläche jedoch in bemerkenswerther Weife.

Die Gewölbeflächen der Kappen *II*, *IV* können aus reinen Kugelflächen zufammengefetzt werden. Die Fufspunkte fämmtlicher Anfatzlinien an den Randbogen und Diagonalbogen liegen vermöge ihrer gleichmäfsigen Stelzung in einer wagrechten Ebene, welche von der Grundebene *G* um die lothrechte Höhe Gw entfernt ift. Die Höhe $8x$ der Anfatzlinie wx am Diagonalbogen ift gleich der um die Strecke Gw verkleinerten Höhe $ff_{,,}$, bezw. $f_{,}f_{,,,}$ weniger Gw. Beftimmt man den Mittelpunkt v auf der Geraden wv für den Kreisbogen wx, fo ergiebt derfelbe die Anfatzlinie über $w8$, welche, wie vorhin bemerkt, auch die Anfatzlinie der Kappe *I* am Diagonalbogen unmittelbar beeinflufft. Ift die Anfatzlinie der Kappe *II* am Randbogen oberhalb w als ftumpfer Spitzbogen gewählt, deffen Schenkel mit dem Halbmeffer yw befchrieben find, fo wird 3 der Mittelpunkt der Kugelfläche für das Kappenftück $8wz$, K_3 ihr gröfster Kreis und folglich der mit dem Halbmeffer 45 um 4 befchriebene Kreisbogen $g7$ die Scheitellinie über $8z$. Die Fläche der zweiten Kappenhälfte ift nach den gleichen Grundlagen zu behandeln. Der Schnitt einer nach $\alpha\beta$ rechtwinkelig zu $w8$ ftehenden lothrechten Ebene mit der Kappenfläche $8w7$ ift der um 3_1 mit dem Halbmeffer $3_1\gamma$ befchriebene Kreisbogen $\alpha_{,}\beta_{,}$.

Als Probe für die richtige Höhenlage der Punkte $\alpha_{,}$ und $\beta_{,}$ ift zu bemerken, dafs $\alpha\alpha_{,} = \alpha\alpha_{,,}$ und $\beta\beta_{,} = \beta\beta_{,,}$ fein mufs. Diefelbe Schnittlinie $\alpha_{,}\beta_{,}$ würde fich auch für eine lothrechte Ebene mit der Grundrifsfpur $\beta\delta$ ergeben.

Bei vollftändiger Regelmäfsigkeit der Fufsflächen der Diagonalrippen (Fig. 516) tritt ein concentrifcher Lauf der Anfatzlinien der Kappen mit den Grenzlinien der Profile diefer Rippen ein. Die Geftaltung der Gewölbefläche *IV* entfpricht der bei der Kappe *II* gegebenen Entwickelung.

Endlich ift auch die Laibungsfläche der Kappe *III* nach reinen Kugelflächen zu bilden. Die Anfatzlinie über kn der Seite ki am Gurtbogen fei der um i mit dem Halbmeffer ik befchriebene Schenkel kl eines gleichfalls ftumpf genommenen Spitzbogens. Die Anfatzlinie über kp am Diagonalbogen entfpricht dem Kreisbogen *B*. Der gemeinfchaftliche Fufspunkt k der beiden in Frage kommenden Anfatzlinien, welche für die Kappe *III* nicht geftelzt werden follen, liegt in der Grundebene *G*.

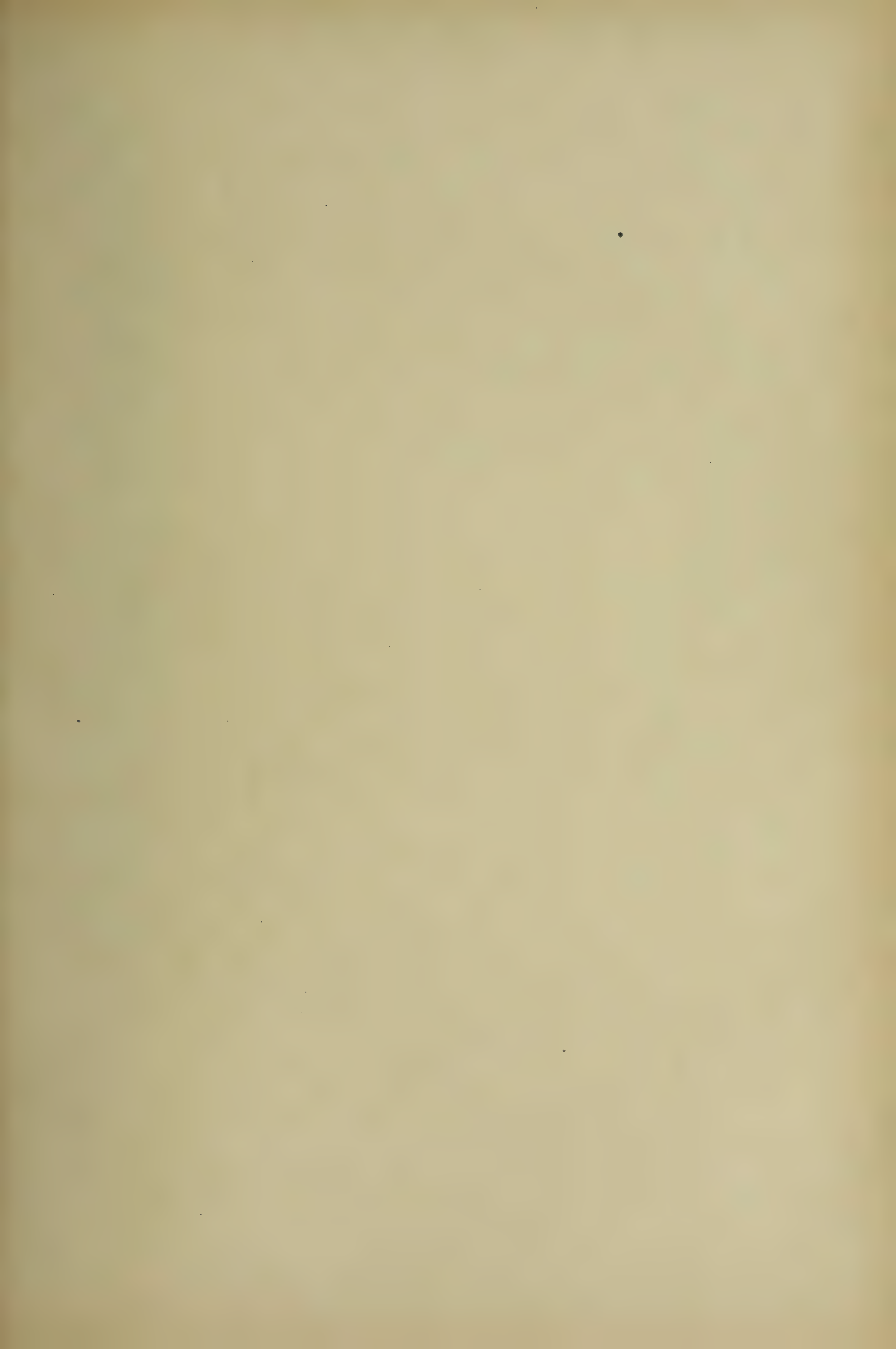
Nach bekanntem Verfahren wird u der Mittelpunkt der Kugelfläche über knp und m der Mittelpunkt der Scheitellinie oq, für welche $no = nl$ und $pq = bq$, ift. Von diefer Scheitellinie fällt durch Einfügen eines gröfseren Schlufsfteines bei s, deffen äufsere Randlinie in einer durch $f_{,,}$, bezw. $f_{,,,}$ geführten wagrechten Ebene liegt, das Stück rq fort, fo dafs wiederum die Höhe des Punktes r genau gleich der Höhe $ff_{,,,}$, bezw. $f_{,}f_{,,}$ über der Grundebene wird.

313.
Befeitigen der Stelzungsflächen.

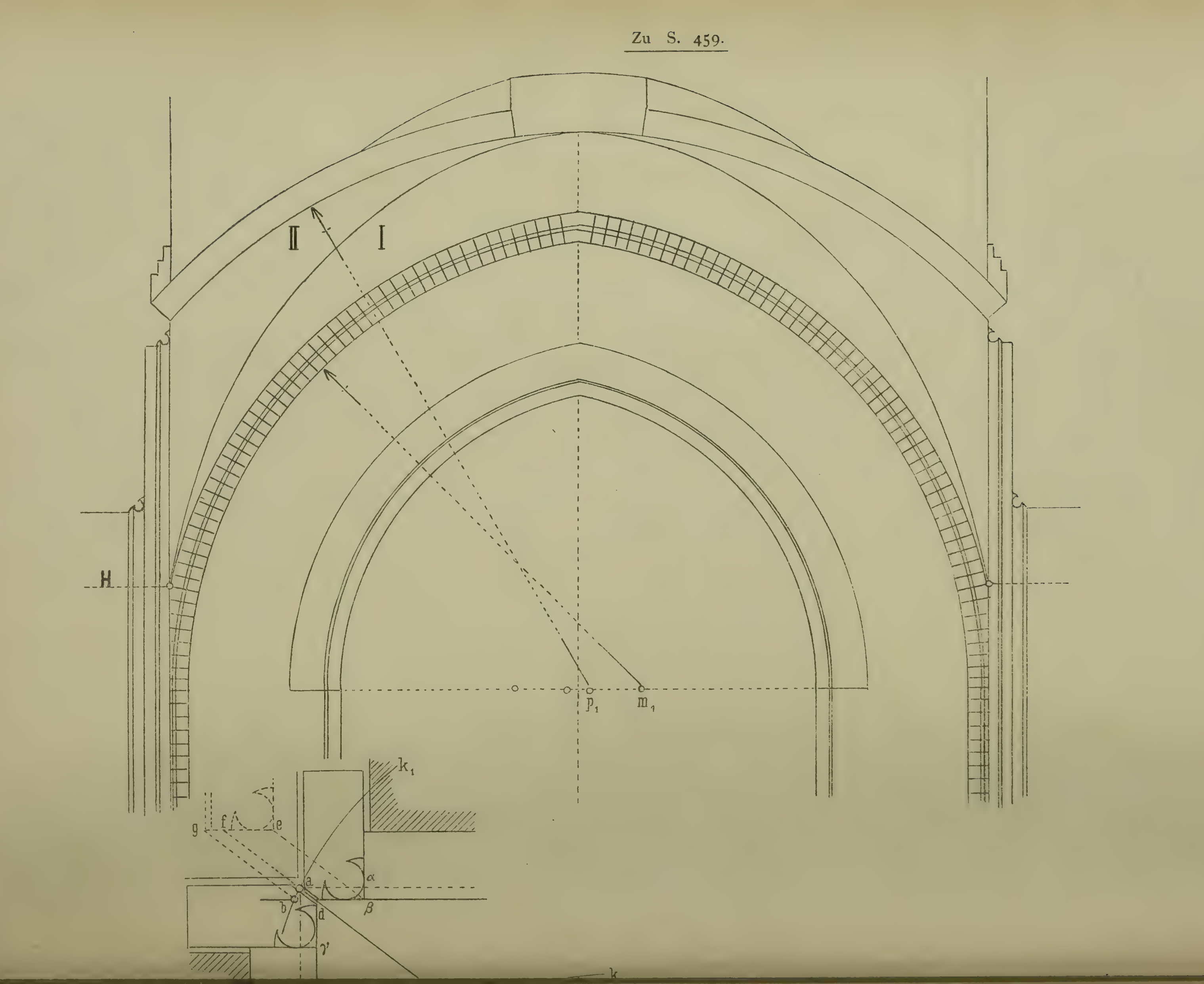
Zur Vermeidung der lothrechten Wand- oder Stelzungsfläche, welche in Folge der Stelzung einer Gewölberippe an dem dicht benachbarten, nicht geftelzten Rippenkörper entfteht, könnte füglich ftatt des geftelzten Rippenbogens und der damit verbundenen Anfatzlinie der Kappe ein in Art. 279 (S. 408) gekennzeichneter Knickbogen oder ein in geeigneter Weife aus beliebig vielen Mittelpunkten conftruirter Korbbogen in Anwendung kommen. Bei fchmalen rechteckigen Gewölbefeldern, fo wie auch bei Gewölben, deren Scheitel bedeutend höher liegen, als die Scheitel der fonft zu ftelzenden Bogen, liefert diefes Auskunftsmittel jedoch, in Rückficht auf eine mit der ganzen Gewölbebildung in vollem Einklange ftehende Form, meiftens kein befonders befriedigendes Ergebnifs.

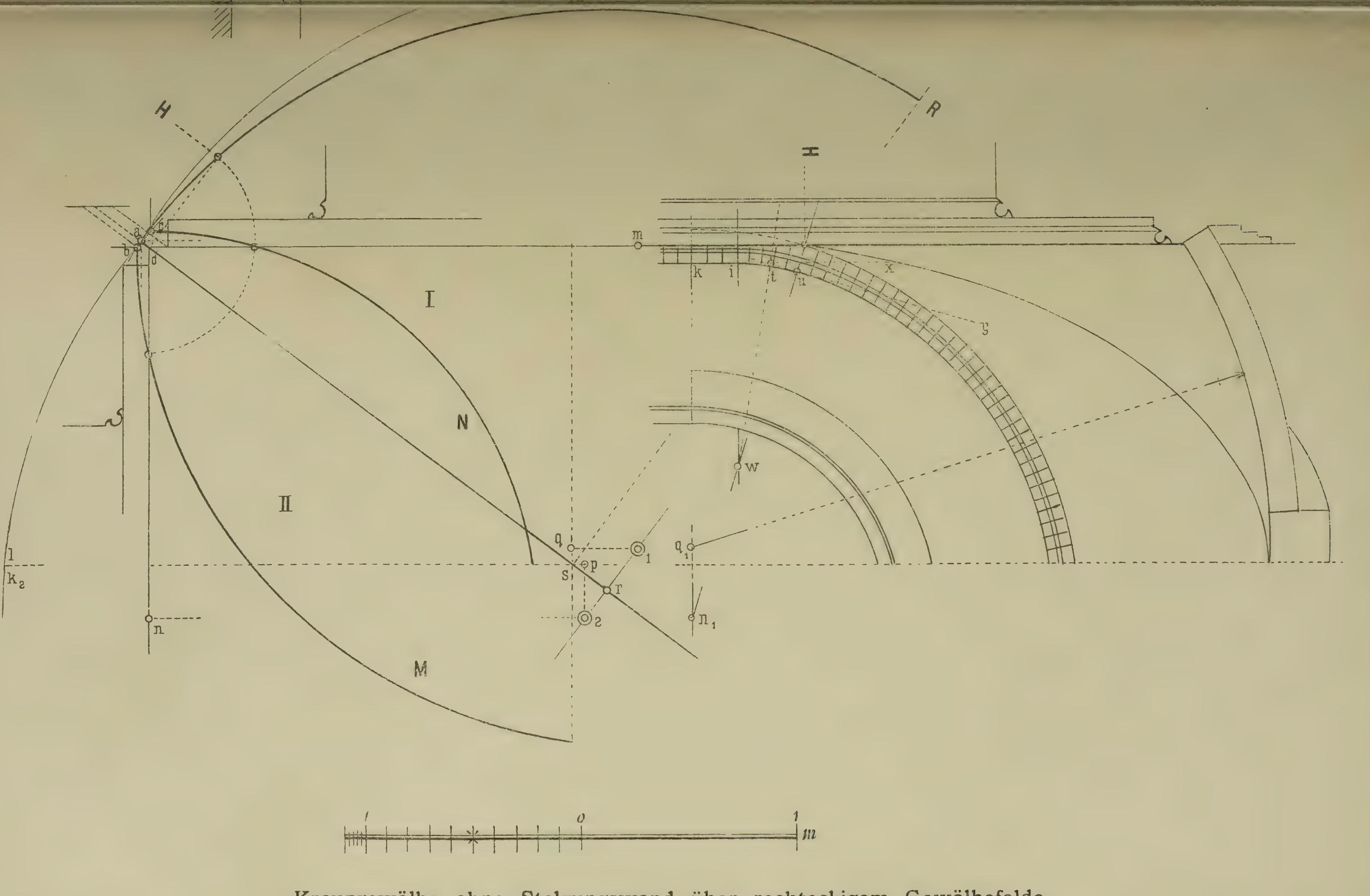
Weit beffer kann in der Regel das Befeitigen der Stelzungsfläche durch ein Zurückfetzen der Stelzungswand in die Widerlags- oder Pfeilerkörper des Gewölbes bewirkt werden, felbft wenn damit eine geringfügige Aenderung eines kleinen Theiles am Fufse der fonft zu ftelzenden Bogenlinien veranlafft wird. Aufserdem kann dabei die Möglichkeit der Durchbildung der Kappenflächen als reine Kugelflächen aufrecht erhalten werden.

Die Grundlagen für diefe Geftaltung find in Fig. 517 enthalten. Würde bei geftelzten Randbogen *M*, bezw. *N* der Seiten dm und dn eines Gewölbefeldes die Höhe der Stelzungswand über der Kämpferebene gleich dH werden, fo würde beim Einführen diefer Wand der Diagonalbogen *R* feinen Fufspunkt in d bekommen,



Zu S. 459.





Kreuzgewölbe ohne Stelzungswand über rechteckigem Gewölbefelde.

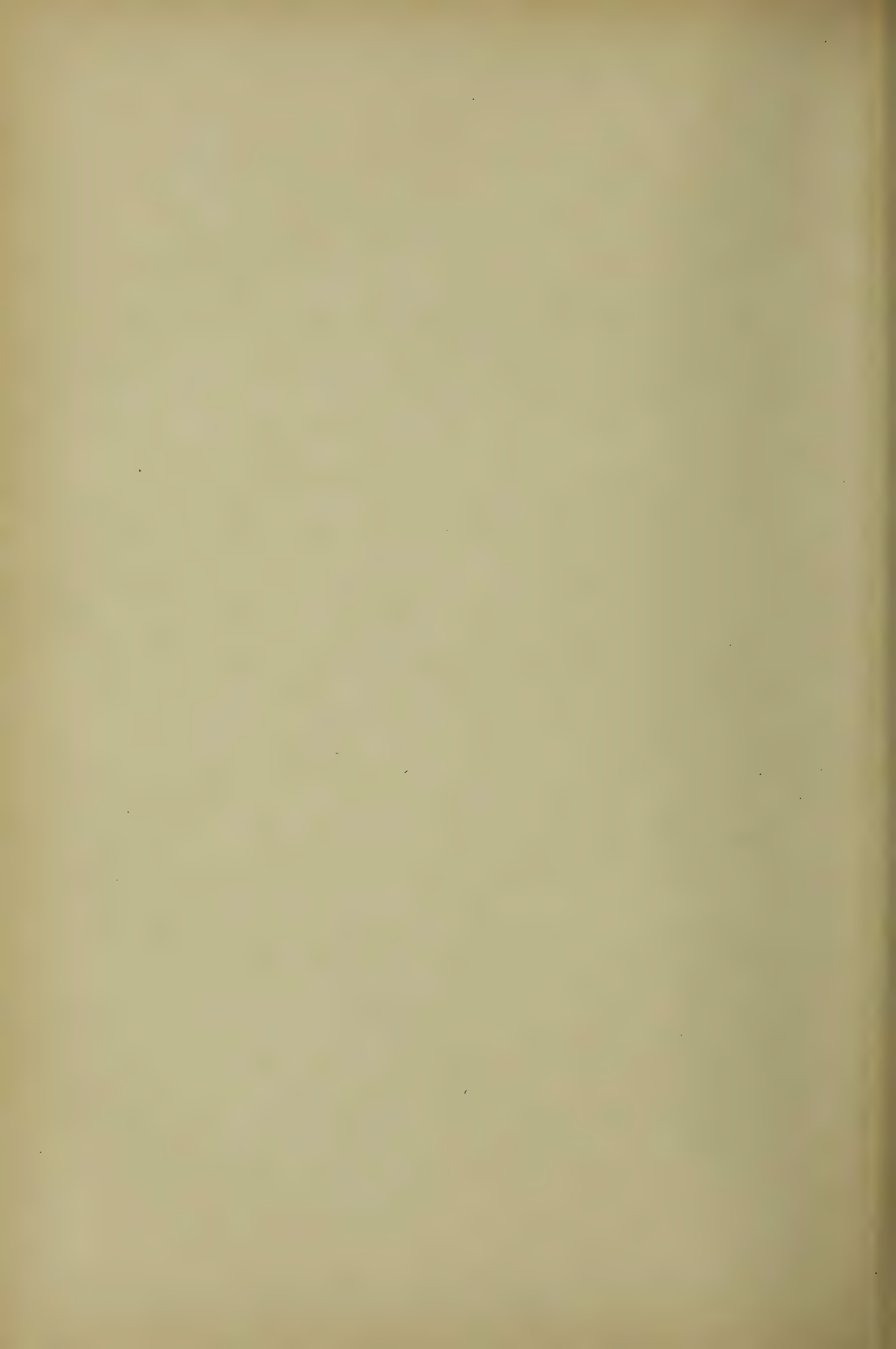
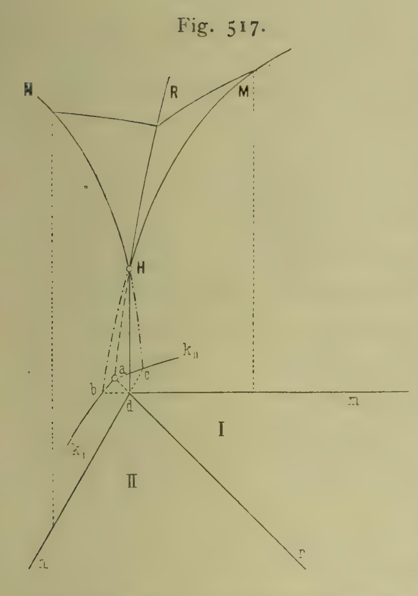


Fig. 517.



und ein in der Höhe dH liegender Punkt dieſes Bogens würde in der Richtung dr um eine wagrechte Strecke ad vorgeſchoben ſein.

Legt man aber den Fuſspunkt des Bogens R um dieſelbe Strecke von d nach a zurück und ſetzt man gleichzeitig den Punkt a als Fuſspunkt für zwei andere Kreisbogen feſt, ſo wird die Stelzungswand in den Widerlagskörper gerückt und damit beſeitigt.

Beſchreibt man alsdann R und M als Kreiſe einer Kugel mit dem durch a gehenden gröſsten Kreiſe $k_{,}$ für die Kappe I und ferner N als Kreis einer Kugel mit dem ebenfalls durch a zu führenden gröſsten Kreiſe k_2 für die Kappe II, ſo wachſen die Bogen R, M und N aus dem gemeinſchaftlichen Punkte H hervor. Sie bilden die Anſatzlinien der nach Kugelflächen zu geſtaltenden Kappen. Dieſen Grundlagen entſprechend iſt auf neben ſtehender Tafel die Zeichnung von einem Kreuzgewölbe ohne Stelzungswand über einem rechteckigen Gewölbefelde gegeben.

Die profilirten Randbogen der Seiten dm und dn ſind in ihren Begrenzungslinien weſentlich concentriſch mit den Bogenlinien der oberen Abſchlüſſe der Lichtöffnungen in den Seitenmauern zu halten.

R iſt der in a auf der Kämpferebene beginnende, als Kreisbogen um r mit ra beſchriebene Diagonalbogen. Punkt $m_{,}$ und demnach auch m iſt der gegebene Mittelpunkt des Fenſterbogens der Seite dm. Da $m_{,}$, bezw. m auch Mittelpunkt des Randbogens und damit zugleich die Anſatzlinie über dm für die Kappe I ſein ſoll, ſo ergiebt ſich im Schnitte 1 des in m auf dm errichteten Lothes mit dem in r auf ar gezogenen Lothe der Mittelpunkt der Kugelfläche für das Kappenſtück I. Der um 1 mit dem Halbmeſſer $1a$ beſchriebene Kreisbogen $k_{,}$ bezeichnet ihren gröſsten Kreis. Die lothrechte Ebene md ſchneidet gehörig erweitert den Kreis $k_{,}$ in b und folglich wird der um m mit mb geſchlagene Kreis M die Anſatzlinie der Kappe I über der Seite dm; ſie vereinigt ſich mit dem Diagonalbogen R an der lothrechten Mauer- oder bei d in einer Höhe dH über der Kämpferebene. Unter Benutzung der Punkte $n_{,}$, bezw. n und r ergiebt ſich in 2 der Mittelpunkt der Kugelfläche für das Kappenſtück II mit dem Halbmeſſer $2a$ und dem gröſsten Kreiſe $k_{,,}$, ſo wie in dem um n mit dem Halbmeſſer nc beſchriebenen Kreiſe N die geſuchte, ebenfalls in der Höhe dH auslaufende Anſatzlinie der Kappe II für die Seite dn.

Die Scheitellinien der Kappen I und II ſind die um q, mit dem Halbmeſſer qh und um p, mit dem Halbmeſſer pl beſchriebenen Kreisbogen der zugehörigen Kugelflächen.

Zur Erzielung eines gleichartigen Emporſteigens der profilirten Randbogen iſt der Grundriſs der Anſätze dieſer Bogen zweckmäſsig unter Benutzung des gröſsten Kugelkreiſes $k_{,}$ und des Punktes b für die am weiteſten geſpannte Kappe I in der Weiſe zu entwickeln, daſs, wie im vergröſserten Plane bei ge gezeigt iſt, unter der hier genommenen Anordnung gleicher Profile, die Breite der Fuſsflächen $d\beta = d\gamma$ wird. Dieſe Annahme einer gleich groſsen Breite kann allerdings zur Folge haben, daſs ein mit dem Halbmeſſer $n_{,}k$ um $n_{,}$ geſchlagener Kreisbogen, wobei der Punkt k dem Punkte γ in der Kämpferebene entſpricht, der Anſatzlinie N im Aufriſs an der ſchmalen Rechtecksſeite nicht mehr concentriſch bleibt. Solches iſt hier der Fall. Eine um $n_{,}$ mit der Anſatzlinie N concentriſche innere Begrenzungslinie des Randbogens fällt über k hinaus. Da aber hierdurch eine nicht beabſichtigte, auch nicht günſtige Verminderung der Breite $d\gamma$ der Fuſsfläche des Randbogens eintreten würde, ſo muſs eine Umgeſtaltung der inneren Begrenzungslinie für die Strecke ku ſtattfinden. Für die Fuſslinie $ktiu$ geht die Fugenrichtung am Randbogen in der Höhe H durch u nach n. Vom Scheitel dieſes Bogens bis u verläuft die Bogenlinie concentriſch mit ſämmtlichen übrigen Bogenlinien. Die Lothrechte kx ſchneidet die in u gezogene Tangente y im Punkte t. Nimmt man $tu = ti$ und zieht iw parallel zu $kn_{,}$, ſo wird w der Mittel-

punkt eines kurzen Kreisbogens *ui*, und die Lothrechte *ik* ergiebt eine mäfsige, nicht ungünftig wirkende Ueberhöhung der nunmehr feft gelegten inneren Begrenzungslinie, welcher fich die übrigen Randlinien gleich laufend anzufchliefsen haben. Durch diefe an fich geringfügige Umformung werden keinerlei Nachtheile für die Gewölbebildung verurfacht.

8) Stärke der gothifchen Kreuzgewölbe und ihrer Widerlager.

314.
Ueberficht.

Die Gewölbekappen der gothifchen Kreuzgewölbe erhalten in den meiften Fällen eine Bufung. Ihre Laibungsflächen gehören reinen Kugelflächen oder kugelförmigen Flächen an; ihre Wölbung entfpricht im Wefentlichen einem freihändigen Zufammenfügen der Wölbfteine in der Weife, dafs Beftandtheile eines Kugelgewölbes entftehen, welche fich gegen die Rippen als Träger des ganzen Gewölbes legen. Letztere liefern das gefammte im Gewölbe wach gerufene Syftem von Kräften an die Gewölbeftützen ab. Die zur Ermittelung der Stärke der gothifchen Kreuzgewölbe zu führenden Unterfuchungen umfaffen vorwiegend die Prüfungen der Stabilität:

α) der Gewölbekappen,

β) der Gewölberippen und

γ) der Gewölbewiderlager oder Gewölbeftützen.

Bei dem zuletzt genannten Punkte find noch befonders die bei den gothifchen Kreuzgewölben mannigfach in Anwendung kommenden Strebepfeiler und Strebe- oder Schwibbogen zu berückfichtigen.

α) Stabilität der Gewölbekappen.

315.
Stabilität der Gewölbekappen.

Die bufigen Kappen der gothifchen Kreuzgewölbe find, wie auch die Art ihrer Einwölbung befchaffen fein mag, im Wefentlichen als Beftandtheile eines Kugel-, bezw. eines Kuppelgewölbes anzufehen. Ihre ftatifche Unterfuchung und die damit verknüpfte Beftimmung ihrer Stärke hat die Lehre vom Gleichgewichtszuftande diefer befonderen Gewölbe zur Richtfchnur zu nehmen. Die Theorie der Kuppelgewölbe ift in Theil I, Band 1, zweite Hälfte (Art. 489 u. ff., S. 461 u. ff. [183]) diefes »Handbuches« gegeben.

Die hierin enthaltenen Grundlagen follen im Folgenden bei den ftatifchen Unterfuchungen der in Frage kommenden Gewölbekappen mit berückfichtigt werden.

Ein Kuppelgewölbe befteht im Allgemeinen aus concentrifchen Wölbfchichten oder Kränzen, d. h. aus gewölbten Ringfchichten, welche nach und nach für fich gefchloffen und über einander gelagert werden. Ihre Lagerflächen find Kegelflächen mit einer gemeinfchaftlichen Spitze im Mittelpunkte der zugehörigen Kugel- oder Kuppelfläche; ihre Stofsfugenflächen liegen in lothrechten Meridianebenen der Kuppel. Die gemeinfchaftliche Schnittlinie diefer Schar von Meridianebenen ift die lothrechte Kuppelaxe. Ein von zwei benachbarten Meridianfchnitten begrenztes Stück des Kuppelgewölbes ergiebt einen Meridianftreifen.

Diefem befonderen Aufbau und Zerlegen der Kuppelgewölbe, wodurch fich diefelben wefentlich von der Herrichtung der cylindrifchen Gewölbe unterfcheiden, entfprechend, mufs bei der ftatifchen Unterfuchung der Kuppelgewölbe der Gleichgewichtszuftand von zwei Kräftegruppen geprüft werden. Diefe Kräftegruppen umfaffen erftens das auf die ebenen Stofsflächen der Wölbkränze einwirkende Kräftefyftem und zweitens die auf die kegelförmigen Lagerflächen diefer Kränze gelangenden Kräfte.

---

[183]) 2. Aufl.: Art. 281 u. ff., S. 269 u. ff.

Da Kuppelgewölbe auch am Scheitel offen bleiben können, alſo ein Meridianſtreifen oben nicht bis zu der als lothrechte Gerade vorhandenen Scheitellinie zu reichen braucht, ſo iſt in erſter Linie die Unterſuchung des Gleichgewichtszuſtandes eines Wölbkranzes von maſsgebender Bedeutung.

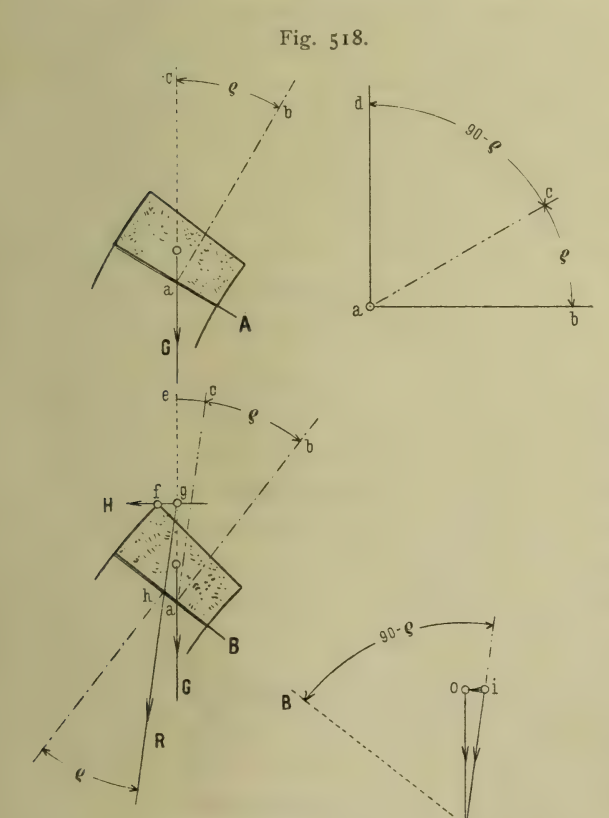
Hierbei kommt nun der Neigungswinkel der Erzeugenden der Lagerfläche des Kranzes und auſserdem, in Bezug auf die unteren Lagerkanten deſſelben, die Lage der Lothrechten, worin das Gewicht eines Kranzſteines, einſchlieſslich ſeiner etwa vorhandenen Belaſtung, wirkt, beſonders in Betracht; denn ſein Gleichgewichtszuſtand wird beeinfluſst durch jenen Neigungswinkel in Rückſicht auf das Gleiten auf der Lagerfläche, durch die bezeichnete Lothrechte im Hinblick auf eine Drehung um eine Lagerkante des Kranzſteines.

Soll im vollſtändig geſchloſſenen Wölbkranze Gleichgewicht in Bezug auf Gleiten und Drehung herrſchen, ſo werden durch die im Kranze lebenden Kräfte in den Stoſsfugen Preſſungen geweckt, welche, unter der Vorausſetzung eines geeigneten Wölbmaterials und einer genügenden Gewölbſtärke, fähig ſein müſſen, das Beſtreben des Abgleitens oder des Drehens der Kranzſteine zu verhindern. Sind dieſe Preſſungen für jeden Wölbkranz bekannt geworden und ſomit für jede Wölbſchicht eines Meridianſtreifens gefunden, ſo läſst ſich dieſes Syſtem von Kräften, in entſprechende Verbindung gebracht, zur Stabilitätsunterſuchung des ganzen Meridianſtreifens benutzen.

316.
Preſſungen der Stoſsflächen
Erſter Fall.

Um die in den Stoſsflächen der Kranzſteine entſtehenden Preſſungen, wobei zunächſt auf die Elaſticität der Wölbſteine und auf die ſtärkere oder geringere Bindefähigkeit des Mörtels keine Rückſicht genommen werden ſoll, zu ermitteln, können die folgenden Fälle in Behandlung treten.

Fig. 518.



a) In Fig. 518 iſt Aa die Richtung der Erzeugenden einer Lagerfugenfläche in der Kräfteebene. Ihre Neigung zur Wagrechten ſei gleich dem Reibungswinkel $cab = \sphericalangle \rho$ des Wölbmaterials. Die Richtungslinie G des im Schwerpunkte des Kranzſteines angreifenden Gewichtes treffe die Erzeugende A im Punkte a der Lagerfläche des Steines. Das in a auf Aa errichtete Loth ab ſchlieſse mit der Kraftrichtung G den Winkel $cab = \sphericalangle \rho$ ein. In dieſem Falle iſt nach der Lehre von der ſchiefen Ebene die Grenzlage für die Erzeugende Aa erreicht, wobei eben noch ein Gleiten des Steines verhindert wird. Da auſserdem, vermöge der Lage des Punktes a der Kraftrichtung G innerhalb der Lagerfläche des Kranzſteines, durch die Kraft G

keine Drehung diefes Steines um eine feiner Kanten eintreten kann, fo werden im Syfteme eines derartig gelagerten und durch Gewichte beanfpruchten Kranzes keinerlei Preffungen in den Stofsfugenflächen erzeugt. Daffelbe gilt, felbft wenn die Kraftrichtung G durch eine Kante geht.

Schliefst die Erzeugende Aa mit der Wagrechten einen kleineren Winkel als den Reibungswinkel ρ ein, bleibt a innerhalb des Gebietes der Lagerfläche, fo können ebenfalls in den Stofsflächen des Kranzes keine Preffungen entftehen.

317.
Zweiter Fall.

b) Bleibt der Angriffspunkt a der Kraftrichtung G in der Lagerfläche, wird aber der Neigungswinkel der Erzeugenden Ba zur Wagrechten gröfser als der Reibungswinkel ρ, fo hat der Kranzftein kein Beftreben, fich um eine Lagerkante zu drehen; wohl aber ift fein Ruhezuftand in Bezug auf das Herabgleiten geftört. Um diefes Abwärtsgleiten zu verhindern, müffen im Kranzkörper Kräfte thätig werden, welche als Preffungen in den feitlichen Stofsflächen mit folcher Gröfse fich einzuftellen haben, dafs die aus diefen Seitenkräften entftehende Mittelkraft den Gleichgewichtszuftand wieder herzuftellen vermag.

Hinfichtlich der Gröfse diefer Mittelkraft und danach auch der Gröfse der Preffungen in den Stofsflächen ift zu bemerken, dafs diefelbe ein folches Mafs anzunehmen hat, als zur Herftellung des Gleichgewichtes eben nothwendig ift, dafs alfo ein Mehraufwand in diefem Kraftmafse nicht berechtigt ift. Diefes eben nothwendige Kraftmafs drückt mithin einen Grenzwerth für die in Rechnung zu ziehende Mittelkraft aus; diefer Grenzwerth hat demnach in jedem befonderen Falle einen in Anwendung zu bringenden möglichft kleinften Werth, welcher eben fo wohl frei von einem Kraftmangel, als auch frei von einem Kraftüberfchufs aufzutreten hat.

Unter Bezugnahme auf Fig. 518 wird die erwähnte Mittelkraft H der Preffungen möglichft klein, wenn diefelbe durch den höchften Punkt f der oberen Lagerkante des Kranzfteines geht, wagrecht gerichtet ift und in der lothrechten Halbirungsebene des Meridianftreifens bleibt, welchem der zur Mittelebene fymmetrifch geformte Stein zugewiefen ift. Diefe Mittelebene enthält auch das Gewicht G des Steines fammt feiner etwaigen Belaftung, ift alfo eine Kräfteebene.

Eine zweite Kräfteebene, wagrecht durch H geführt, enthält die fymmetrifch zu H gelegenen Preffungen der Stofsflächen als ihre Seitenkräfte. Diefe befitzen gleiche Gröfse und find fenkrecht zu den Seitenebenen des Meridianftreifens gerichtet.

Das in a auf Ba errichtete Loth ab fchliefst mit der Richtung G einen Winkel bae ein, welcher gröfser ift, als der Reibungswinkel $bac = \rho$. Damit das Abgleiten des Kranzes, dem der Stein angehört, nicht eintritt, müffen die vorhin bezeichneten Seitenpreffungen mit der möglichft kleinften Mittelkraft H thätig werden.

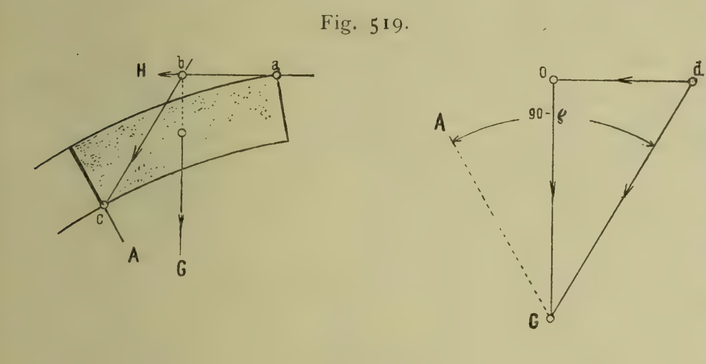
Um diefe Kraft H zu beftimmen, mufs die Refultirende R aus dem Gewichte G und der noch unbekannten Kraft H eine folche Lage annehmen, dafs fie die Erzeugende Ba in einem Punkte h innerhalb der Lagerfläche trifft und mit dem in h auf Ba errichteten Lothe einen Winkel einfchliefst, welcher die Gröfse des Reibungswinkels nicht überfchreitet. Würde die Lage diefer Refultirenden fo feft gefetzt, dafs diefelbe mit dem Lothe auf Ba einen Winkel einfchliefsen follte, welcher kleiner als der Reibungswinkel ausfiele, fo würde H wachfen, was unzuläffig erfcheinen mufs.

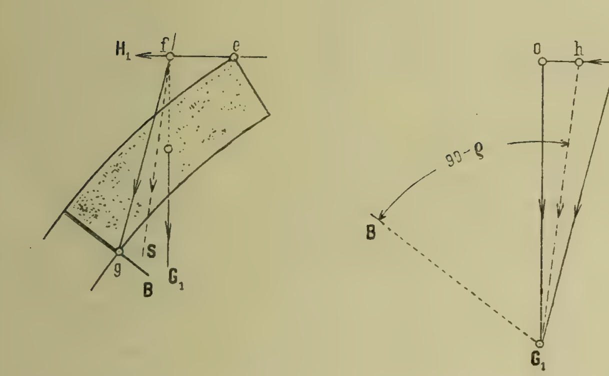
Bringt man daher die Richtung G mit der wagrechten Strecke H in g zum Schnitte, zieht man durch g den Strahl R parallel zum Schenkel ac des Reibungs-

winkels ρ, deffen zweiter Schenkel auf Ba lothrecht genommen wurde, fo ift die Lage der Mittelkraft aus G und H beftimmt. Die Gröfse von R und von H ift mit Hilfe des Kräfteplanes oGi leicht zu finden. In demfelben ftellt oG die Gröfse des Gewichtes vom Kranzfteine dar; Gi ift parallel zu R und oi parallel zu H gezogen, fo dafs nunmehr iG gleich der Gröfse von R, io gleich der Kraft H ift.

Um das Zeichnen der Schenkel des Reibungswinkels ρ am Wölbfteine zu vermeiden, hat man aus leicht erfichtlichen Gründen nur nöthig, im Kräfteplane felbft den Strahl GB parallel zur Erzeugenden Ba zu ziehen und an GB den Winkel $90 - \rho$ anzutragen. Der Schenkel Gi diefes Winkels mufs alsdann ebenfalls parallel zu ac fein.

Fig. 519.





315.
Dritter Fall.

c) Schneidet die Kraftrichtung G die Lagerfläche des Kranzfteines nicht, ift der Neigungswinkel der Erzeugenden Ac in Fig. 519 zur Wagrechten gröfser als der Reibungswinkel ρ; fo hat der Stein das Beftreben, fich um die Lagerkante c zu drehen und aufserdem auf der Lagerfläche zu gleiten.

Die Mittelkraft H der in den Stofsfugen des Kranzes zur Herftellung des Gleichgewichtszuftandes wach gerufenen Preffungen mufs alfo denjenigen möglichft kleinen Werth annehmen, welcher ausreicht, jene Drehung und jenes Gleiten zu verhindern.

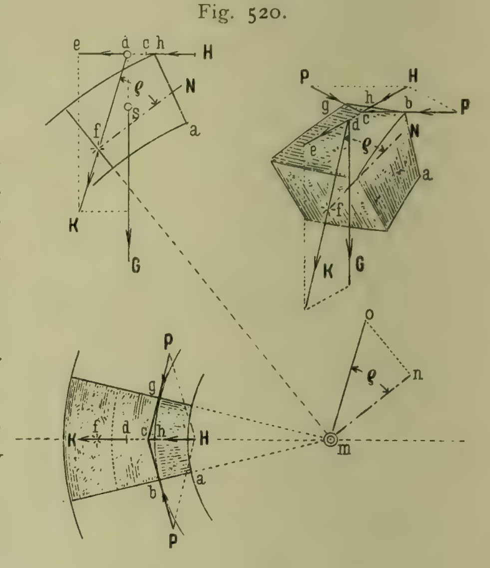
Die Refultirende aus G und der durch den höchften Punkt a der oberen Lagerkante des Steines gerichteten Kraft H mufs alfo zunächft eine folche Lage bc annehmen, dafs fie durch den Drehpunkt c der unteren vorderen Lagerkante geht und fodann mit der Senkrechten auf Ac einen Winkel einfchliefsen, welcher kleiner oder mindeftens gleich dem Reibungswinkel ρ, aber niemals gröfser als ρ wird.

Für die Erzeugende Ac ergiebt fich nach dem Kräfteplane, dafs die Mittelkraft dG in der Richtung bc auch mit der Senkrechten auf ac gerade noch einen Winkel gleich dem Reibungswinkel ρ einfchliefst, fo dafs die Strecke do die Gröfse der Mittelkraft H ergiebt, welche ausreicht, um das Gleichgewicht des Kranzfteines aufrecht zu erhalten.

Für eine Erzeugende Bg dagegen würde, in Rückficht auf Gleiten allein, eine Mittelkraft S aus G_1 und der im Kräfteplan hierfür gefundenen, in der Wagrechten ef wirkenden Kraft ho nicht durch den Drehpunkt g der unteren Lagerkante gehen; alfo der Stein nach wie vor eine Drehung um diefe Kante vollziehen. Hiernach genügt die Kraft ho noch nicht zur Herftellung des Gleichgewichtszuftandes. Die

Preffungen im Kranze müffen wachfen, und zwar in der Weife, dafs ihre Mittelkraft $H_{,}$ für einen Stein des zugehörigen Meridianftreifens eine Gröfse erhält, welche die Refultirende aus $G_{,}$ und diefer Kraft $H_{,}$ fo weit zurück treibt, bis diefe neue Refultirende durch den Drehpunkt g läuft. Zieht man alfo durch den Schnitt f der Kraft $G_{,}$ und der Wagrechten ef den Strahl fg, fo ift hiermit die Lage der bezeichneten Refultirenden gefunden. Zeichnet man im Kräfteplane $G_{,}i$ parallel zu fg, fo ergiebt fich in iG_1 ihre Gröfse und zugleich in io die Gröfse der für das Gleichgewicht nothwendigen Mittelkraft $H_{,}$. Da die Refultirende $iG_{,}$ in ihrer Richtung fg mit der Normalen einen Winkel einfchliefst, welcher um $\sphericalangle\, iG_{,}h$ kleiner wird, als der Reibungswinkel ρ, fo ift bei dem Herrfchen der Kraft $H_{,} = io$ auch Gleichgewicht in Bezug auf Gleiten vorhanden.

Fig. 520.



Nach diefen Erörterungen ift für einen beliebig genommenen Kranzftein eines Meridianftreifens mgb in Fig. 520 das bei der Unterfuchung des Gleichgewichtes in Frage kommende Kräftefyftem zufammen getragen.

In der Richtung he wirkt die gefuchte Mittelkraft H der in den Seitenflächen mg und mb in g und b entftehenden Preffungen P, P. Setzt man das Gewicht G in d mit der unbekannten, aber in he liegenden Kraft H zufammen, errichtet man auf der Erzeugenden mf der Lagerfläche des Steines das Loth mn und trägt man den Winkel nmo als Reibungswinkel ρ an; fo mufs die Refultirende K aus G und H in Rückficht auf Gleichgewicht gegen Gleiten parallel mit om gerichtet fein. Der Strahl df entfpricht diefer Lage. Da G und die Richtung der Refultirenden aus G und H bekannt find, fo ergeben fich die Gröfse de für die fomit gefundene Kraft H und die Gröfse dK für die Refultirende K. Letztere trifft die Lagerfläche des Steines; folglich genügt die Kraft $de = H$ auch für das Gleichgewicht gegen Drehen.

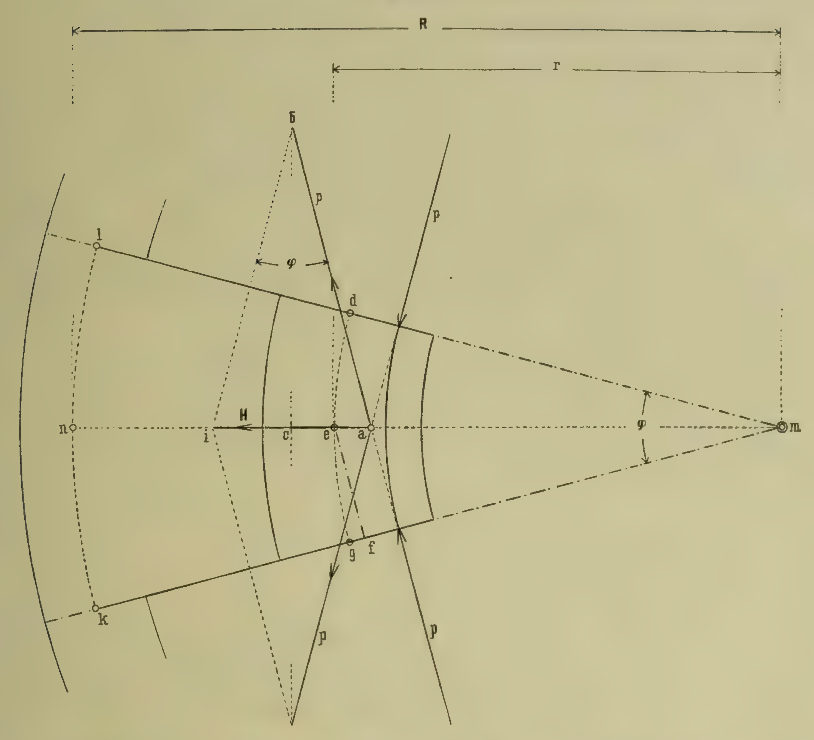
Die Preffungen P, P find Seitenkräfte von H; fie liegen mit H in einer wagrechten Ebene und find fenkrecht zu den Seitenflächen mg, mb des Meridianftreifens mgb gerichtet.

Zerlegt man die Kraft $H = de = Hc$ unter Benutzung der Strahlen Pc, Pc, die ihrer Lage und Richtung nach für die zu beftimmenden Kräfte P, P mafsgebend werden, fo liefert das Kräfte-Parallelogramm $HPcP$ in Pc und Pc die gefuchten Preffungen P, P.

Gehört ein Meridianftreifen einem reinen Kugelgewölbe an, fo ergiebt fich durch Rechnung eine einfache Beziehung zwifchen den Preffungen P und ihrer Mittelkraft H.

In Fig. 521 ift mkl der Grundrifs eines folchen Meridianftreifens mit der lothrechten Symmetrie-Ebene mn und dem fehr kleinen Winkel φ. Der Gewölbefufs diefes Streifens befitzt die mittlere Dicke kl; der Halbmeffer des Bogens kl ift R. Für einen Kranzftein diefes Streifens fei die in der Kugelfläche, welcher der Bogen kl angehört, gelegene mittlere Dicke gleich gd, und der Halbmeffer des Bogens gd

Fig. 521.



ſei r. Die Mittelkraft H der Preſſungen p, p an den Seiten des Kranzſteines ſei bekannt und in ai gegeben.

Aus der Aehnlichkeit der rechtwinkeligen Dreiecke acb und efm folgt

$$\frac{ab}{ac} = \frac{em}{ef},$$

d. h. auch, da ab der Preſſung p entſpricht,

$$\frac{p}{\frac{H}{2}} = \frac{r}{ef}.$$

Bei der Kleinheit des Winkels φ kann die Gerade $ef = r \,.\, \sin \frac{\varphi}{2}$ mit dem Bogen $ge = r \frac{\varphi}{2}$ vertauſcht werden, ſo daſs

$$\frac{p}{\frac{H}{2}} = \frac{r}{r \frac{\varphi}{2}} \quad \text{oder} \quad p = \frac{H}{\varphi} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 247.$$

wird.

Bezeichnet man die mittlere Dicke dg mit d, ſo iſt $d = r\varphi$, alſo $\varphi = \frac{d}{r}$, mithin nach Gleichung 247 auch

$$p = \frac{Hr}{d} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 248.$$

Wird kl mit D bezeichnet, ſo iſt ferner $\frac{r}{d} = \frac{R}{D}$, wodurch ſodann

$$p = \frac{HR}{D} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 249.$$

erhalten wird.

Das Gewicht G wird meiſtens nach Art. 249 (S. 363) auf graphiſchem Wege beſtimmt und danach auch der Werth der Kraft H, bezw. die Gröſse ihrer Seitenkräfte p durch Zeichnung ermittelt.

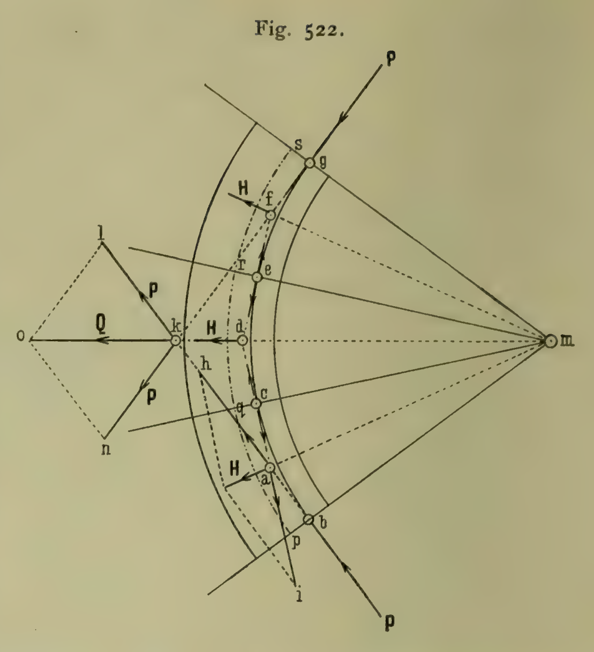


Fig. 522.

319. Wölbkranz.

Betrachtet man eine Schar von Kranzſteinen eines Wölbringes für mehrere neben einander liegende Meridianſtreifen von gleicher Gröſse (Fig. 522), ſo bleiben die in den äuſserſten Seitenflächen mg und mb vorhandenen Preſſungen P, P gleich den für einen einzelnen Meridianſtreifen, z. B. mbc ermittelten Preſſungen $p = q$.

Wie aus der Zeichnung zu erkennen, wirken in c, auch in e, die Preſſungen der zugehörigen Elementarſtreifen in einer geraden Linie, in gleicher Gröſse $p = q$ und in entgegengeſetzter Richtung, ſind alſo für ſich im Gleichgewicht.

An den lothrechten Grenzebenen mg und mb des Stückes eines Wölbkranzes bleiben alſo die Preſſungen P, P übrig, welche offenbar dieſelbe Gröſse wie die Seitenkräfte $p = q$ von H des Streifens mbc beſitzen müſſen. Dieſe Preſſungen P liegen in einer wagrechten Ebene, welche durch die obere Lagerkante gb am Wölbkranze geführt werden kann; ſie ſtehen je für ſich ſenkrecht zu den Ebenen mg, bezw. mb und laſſen ſich in k zu einer Mittelkraft Q vereinigen, welche zugleich die Reſultirende der Kräfte H der einzelnen Kranzſteine ſein muſs. Legte ſich das Kranzſtück mgb in den Seitenebenen mg und mb gegen beſondere Widerlagskörper, ſo hätten dieſe den Kräften P zur Herſtellung des Gleichgewichtes einen gleich groſsen Widerſtand zu leiſten.

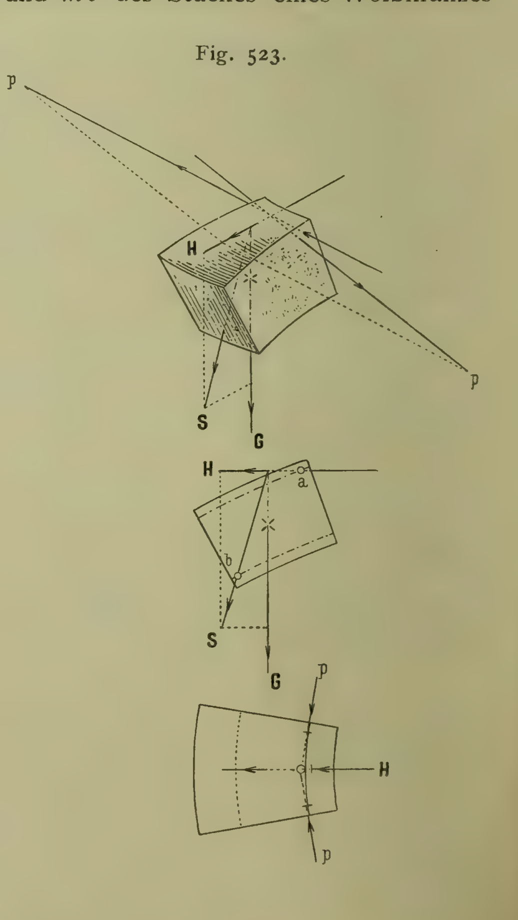


Fig. 523.

320. Formänderung.

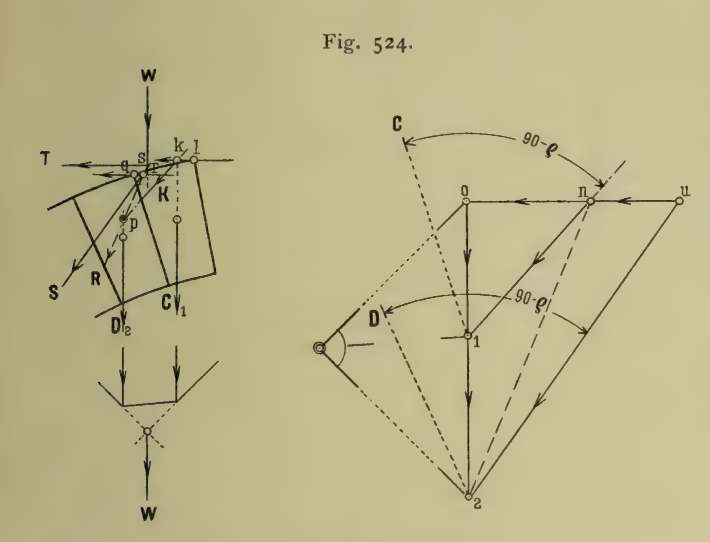
Bei den geführten Unterſuchungen ſind die Elaſticität des Wölbmaterials und die damit im Zuſammenhange ſtehende Formänderung des Wölbkörpers, welche die an einem Kranzſteine, bezw. an dem ganzen Kranze thätigen Kräfte bewirken, auſser Acht gelaſſen. Aus Gründen, welche bereits in Art. 141 (S. 194) angeführt ſind,

kann man bei Berückfichtigung der Prefsbarkeit des Materials die Angriffspunkte a von H und b von S, wie Fig. 523 ohne Weiteres erklärt, um eine gewiffe Strecke in das Innere des Wölbfteines rücken, fonft aber beim Beftimmen der Gröfsen der Kräfte H, S und p, wie im Vorhergegangenen mitgetheilt ift, vorgehen. Erfahrungsgemäfs ift auch bei Kuppelgewölben das Zurückziehen der Angriffspunkte a und b von den Kanten bei guten, hinlänglich feften Wölbfteinen nur äufserft gering. Die Angabe eines genauen Mafses für die Gröfse diefes Zurückziehens ift bis jetzt noch nicht möglich.

321. Preffungen der Lagerflächen.

Mit dem Ermitteln der an den Stofsflächen der Kranzfteine eines Meridianftreifens entftehenden Kräfte, geht die Beftimmung der Drücke auf die Lagerflächen der Wölbfteine diefes zugehörigen Streifens Hand in Hand. Ueber einander gelagerte Kranzfteine bilden den Meridianftreifen.

Fig. 524.



In Fig. 524 find zur Erklärung des bei der Stabilitäts-Unterfuchung eines Meridianftreifens einzufchlagenden Weges zwei über einander liegende Kranzfteine in ihrem Schnitte mit der Symmetrie- oder Kräfteebene vom Gewicht *1*, *2* und mit den Lagerfugen oder Erzeugenden der Lagerflächen C, D angenommen.

Setzt man das Gewicht *1* nach Art. 318 (S. 463) mit der durch l ziehenden wagrechten Kraft no, welche unter Anwendung des Winkels $90 - \rho$ in bekannter Weife gefunden wird, zu der Mittelkraft $K = n1$ in k auf lk zufammen, fo trifft diefelbe die Fuge C. Gleichgewicht in Bezug auf Gleiten und Drehen ift beim Herrfchen der Kraft no für den Stein oberhalb der Fuge C gewahrt. Setzt man weiter die Kraft K, welche den Druck für die Fuge C angiebt, mit dem Gewichte *2* im Punkte p zu einer Mittelkraft $R = n2$ des Kräfteplanes zufammen, fo fchneidet diefelbe die durch den höchften Punkt q des zweiten Kranzfteines gehende wagrechte, noch unbekannte Kraft im Punkte r. Zieht man zur Beftimmung diefer Kraft im Kräfteplane $2D$ parallel zur Erzeugenden D, trägt man an $2D$ den Winkel $90 - \rho$, fo begrenzt der Schenkel $2u$ diefes Winkels die durch o, bezw. n gelegte Wagrechte im Punkte u, und folglich wird nunmehr un die in r wirkende wagrechte Kraft und $u2$ die gleichfalls durch r ziehende Refultirende S der beiden wagrechten Kräfte un und $no = uo$ und der beiden Gewichte *1* und $2 = o2$, welche in ihrer Gefammtheit für die Fuge D in Wirkfamkeit treten. Auch diefe den Druck für die Lagerfuge D angebende Kraft S bekundet Gleichgewicht in Rückficht auf Gleiten und Drehung bis zur Fuge D des Meridianftreifens.

Die wagrechte Seitenkraft uo von S ift die Mittelkraft derjenigen Preffungen, welche bis zur Fuge D an den Seitenflächen des Meridianftreifens entftehen.

Setzt man diefes einfache Verfahren, welches im Folgenden — bei der be-

fonderen Betrachtung über Kuppelgewölbe — noch weiter verfolgt werden foll, unter Beobachtung der in Art. 315 (S. 460) behandelten und eintretenden Fälle

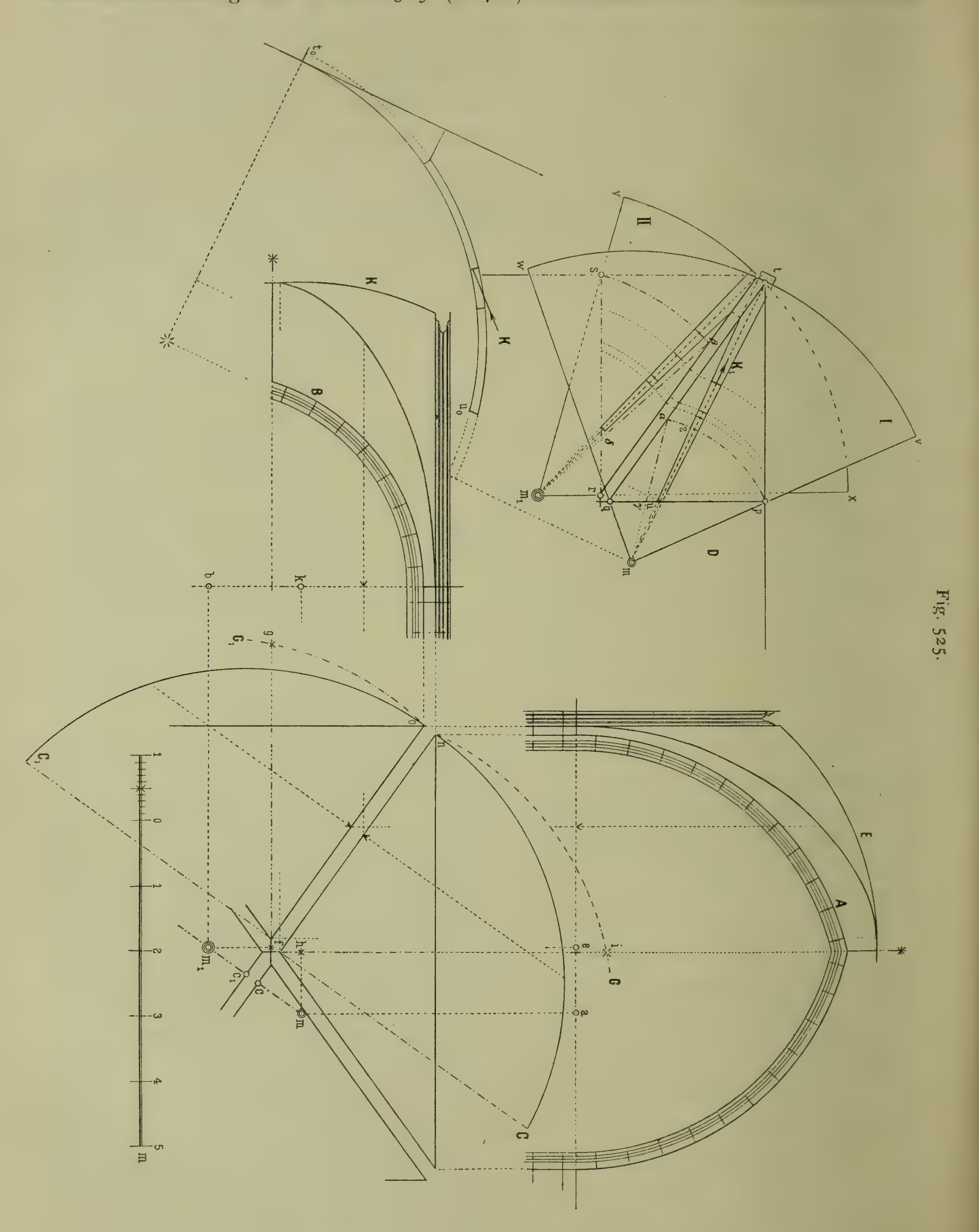


Fig. 525.

fort, fo gelangt die ftatifche Unterfuchung des Meridianftreifens fowohl in Bezug auf die Preffungen in den Stofsflächen, als auch auf die Drücke in den Lagerflächen zum Abfchlufs.

Hätte man die Kräfte *no* und *un* zu einer Mittelkraft *T* und eben fo die Gewichte *1* und *2* zu einem refultirenden Gewichte *W* zufammengefetzt, diefe in ihrem Schnitte *s* angreifen laffen, fo würde die durch *s* parallel zu *u 2* gelegte Refultirende *S* ebenfalls durch den Punkt *r* gehen.

322. Gewölbekappen.

Die befprochenen, für die Stabilitäts-Unterfuchung der Kuppelgewölbe wichtigften Punkte laffen fich unmittelbar auf die Prüfung der Standfähigkeit der bufigen Kappen der gothifchen Kreuzgewölbe übertragen. Da die fphäroidifchen, nicht nach reinen Kugelflächen gewölbten Kappen doch im Allgemeinen in Rückficht auf ihre praktifche Ausführung nur wenig von der Kugelfläche abweichen, fondern faft immer in ihren Laibungsflächen kugelähnlich geftaltet werden, fo entfteht kein grofser Fehler, wenn auch diefe fphäroidifchen Kappen bei der ftatifchen Unterfuchung wie die mit Kugelflächen behafteten Kappen behandelt werden.

Für das Kreuzgewölbe über einem rechteckigen Gewölbefelde in Fig. 525 find *A* und *C*, bezw. *B* und *C* die nach Kreisbogen genommenen Anfatzlinien der Gewölbflächen. Die Mittelpunkte diefer Kreisbogen liegen in der wagrechten Kämpferebene; *m* und $m_{,}$ find die Kugelmittelpunkte für das Kappenftück zwifchen *A* und *C*, bezw. zwifchen *B* und *C*. Der gröfste Kreis des erften Stückes ift in *G*, der des zweiten Stückes in $G_{,}$ auf bekanntem Wege ermittelt.

Unter Benutzung der gröfsten Kreife werden die Kugelftücke der Kappen in fchmale, lothrechte Meridianftreifen zerlegt. Für jede Kappe find den einzelnen Streifen gleiche Winkel zu geben; auch ift, wie im Plane *D* gezeigt, thunlichft eine gleichmäfsige Anordnung in Bezug auf die Symmetrie-Ebenen *mt* und $m_{,}t$ der längften Streifen zu treffen. Ift die wagrechte und lothrechte Projection, wie *ut*, $u_0 t_0$ eines gröfsten Meridianftreifens beftimmt, fo ift diefes Gewölbftück für fich einer ftatifchen Unterfuchung zu unterwerfen, um danach ohne Weiteres die Stabilitätsverhältniffe der übrigen in den zugehörigen Kappenftücken noch vorhandenen, aber kürzeren Streifen, gleiche Stärke und Belaftung vorausgefetzt, ableiten zu können.

Beim Zerlegen der Kappenftücke in Meridianftreifen ergeben fich weiter in Rückficht auf die Scheitellinien *qp* der Kugelfläche *I*, mit dem gröfsten Kreife *vw*, und *rs* der Kugelfläche *II*, mit dem gröfsten Kreife *xy*, durch die Ringlinien $p\alpha$, bezw. $s\beta$ und durch die Scheitellinien *qp*, bezw. *rs* beftimmt begrenzte Gebiete $q\alpha p$ und $r\beta s$, welche die in den lothrechten Scheitelebenen *pq* und *sr* entftehenden Preffungen befonders beeinfluffen.

Steht die lothrechte Axe der Kugelfläche, welche die Laibung eines Kappenftückes liefert, wie in Fig. 526 bei *m*, aufserhalb des eigentlichen Gewölbefeldes, fo ift nach dem Feftlegen ihres gröfsten Kreifes *G* wiederum nur ein zweckmäfsiges Zerlegen des Kappenftückes in fchmale Meridianftreifen vorzunehmen. Der gröfste diefer Streifen, wie z. B. *gf* mit der lothrechten Projection $g_{,}f_{,}$, ift für die ftatifche Unterfuchung zu Grunde zu legen.

In jeder Beziehung ift die Ermittelung der Seitenpreffungen, welche die bufigen Kappen auf die ftützenden Rippenkörper ausüben, von Bedeutung.

Ift nach Fig. 527 das Zerlegen der Kappen in Meridianftreifen vorgenommen, fo kann man, z. B. für den gröfsten Streifen *hfeg*, die in der befonders ftark gezeichneten Kranzfchicht entftehende wagrechte Kraft *H* ganz im Sinne der Ausführungen in Art. 319 (S. 466) und danach die Preffungen *P* an den Stofsflächen des zugehörigen Kranzfteines beftimmen. Diefe Preffungen *P* find für fämmtliche Kranzfteine des Wölbringes in Betracht zu ziehen. Diefelben machen fich fowohl

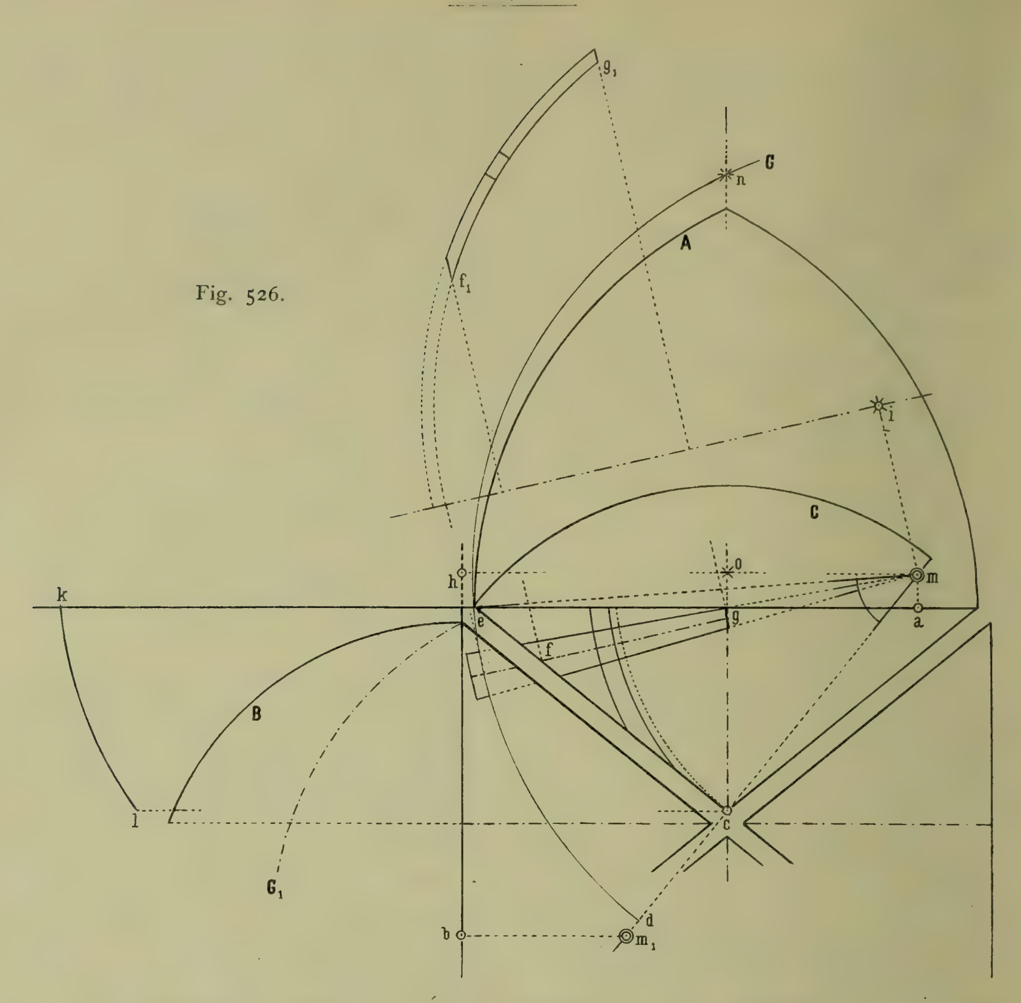


Fig. 526.

in den Anfatzflächen der Kränze, fo fern die Kräfte in den Stofsflächen bei einzelnen Ringfchichten nicht gleich Null werden, am Randbogen der Seite *ea*, als auch am Diagonalbogen *ec* geltend. Sie find auch hier bei einer normalen Stellung zu den äufserften Meridianebenen der Kranzfchicht wagrecht gerichtet und kennzeichnen unmittelbar die Beanfpruchung der ftützenden Rippenkörper durch diefe Kräftegruppe der Kappenwölbung.

Nach dem Zerlegen der Preffungen P in die Seitenkräfte N und T, bezw. $N_{\prime}$ und $T_{\prime}$ rechtwinkelig zu den Ebenen der Rand- und Diagonalbogen, bezw. in diefe Ebene fallend, läfft fich hiermit unter Berückfichtigung des in Art. 253 (S. 375) Vorgetragenen die weitere ftatifche Unterfuchung diefer Bogenkörper in Verbindung bringen.

Ergeben die Preffungen P der Stofsflächen der einzelnen Kranzfchichten auch fofort die Gröfse der hierdurch eintretenden Seitenfchübe für die Rippenkörper, fo find damit doch zunächft die Preffungen noch nicht klar gelegt, welche durch die innerhalb der bei Fig. 525 erwähnten Gebiete der Scheitellinien der Kappen befindliche Wölbung in den fenkrechten Ebenen diefer gekrümmten Scheitellinien bei dem Zufammenfchnitt der Wölbfchichten entftehen.

Die Beftimmung der Gröfse diefer nach den Scheiteln der Rand- und Diagonalbogen gelangenden Preffungen foll befonders nach Fig. 528 vorgenommen werden.

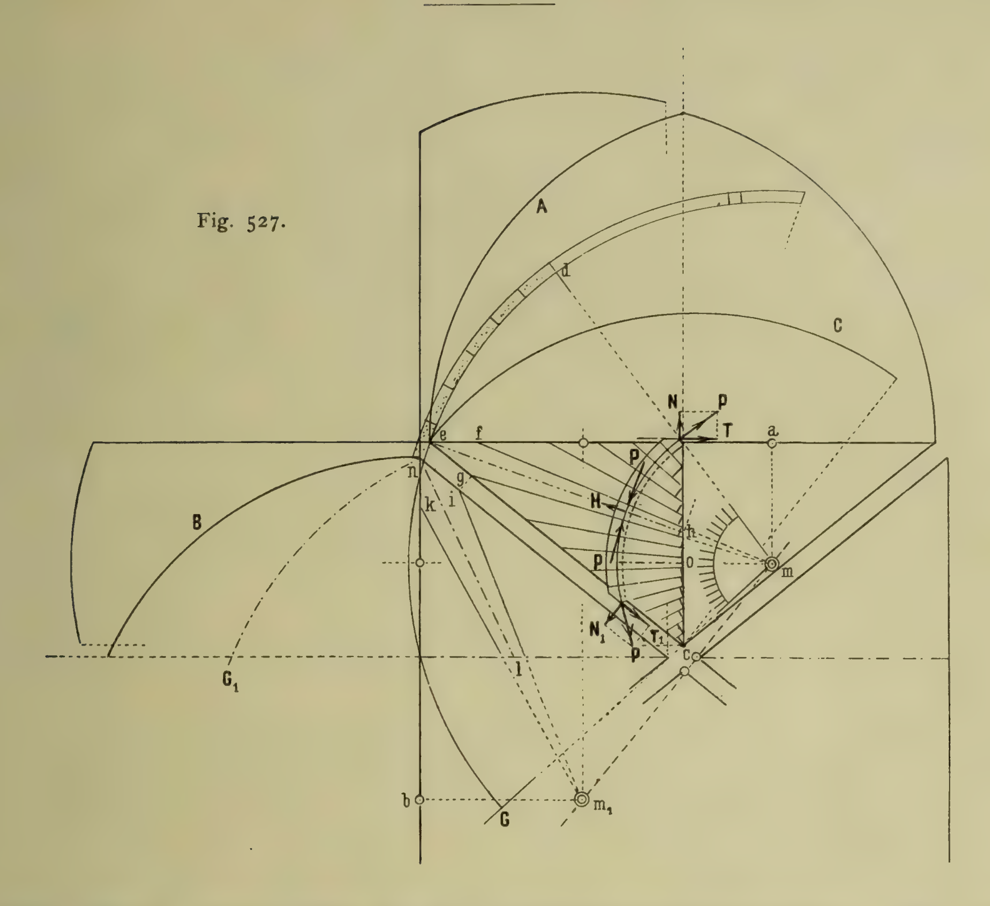


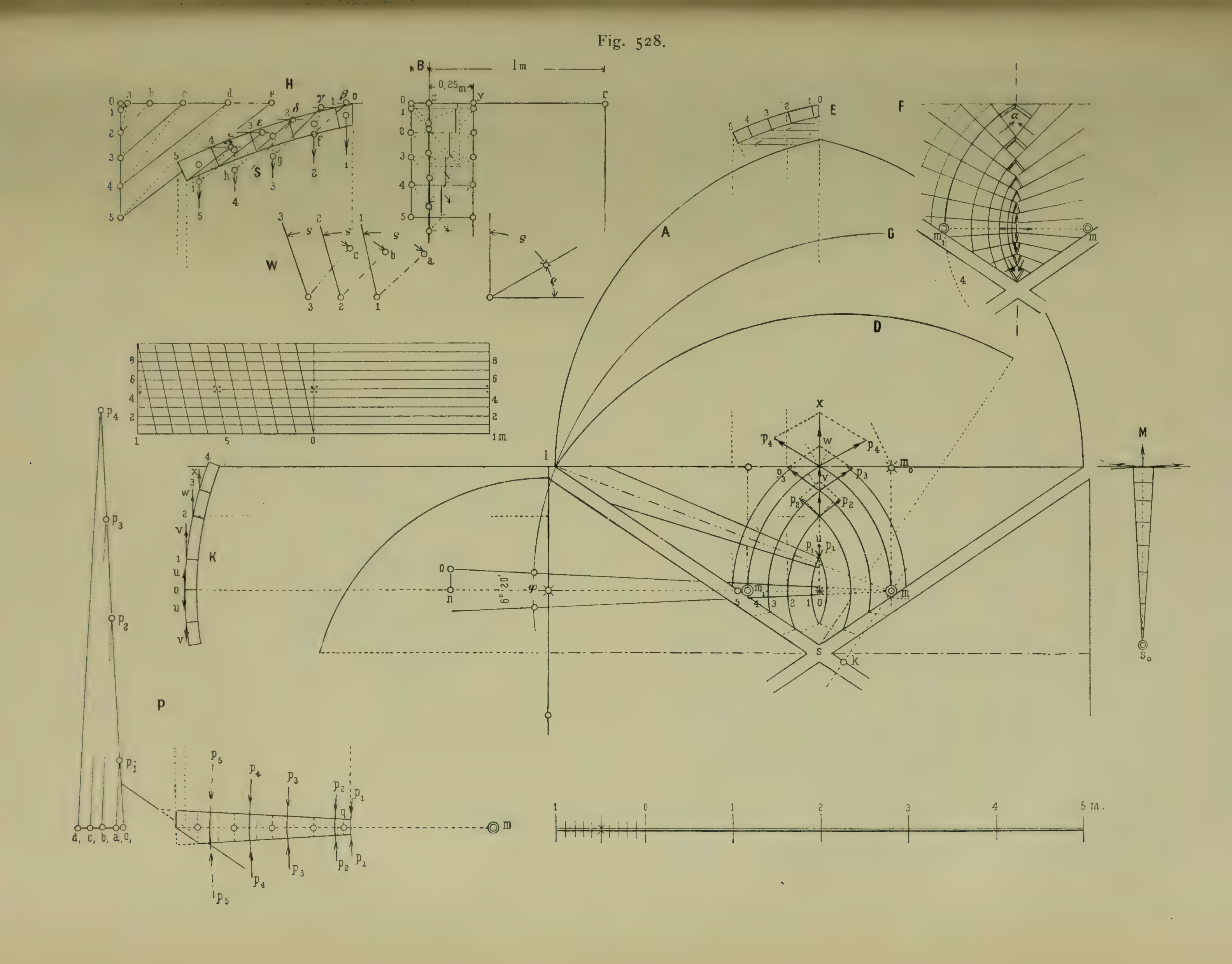
Fig. 527.

Zerlegt man das Kappengebiet mit den Kugelmittelpunkten *m* und $m_,$, welche für die beiden in der Scheitellinie *sv* zuſammengefügten Kappentheile maſsgebend werden, in einzelne ſymmetriſch zur Scheitellinie geordnete Meridianſtreifen, ſo bleiben, wie aus dem Plane *F* zu erſehen iſt, an ihrer oberen Begrenzung im Allgemeinen noch Lücken. Zur Herſtellung eines Widerlagers für die an den Lücken endigenden Kranzſchichten iſt das Einfügen von Schluſsſteinen erforderlich, welche die Seitenpreſſungen der Kränze aufzunehmen haben. Werden dieſe ſymmetriſch zur lothrechten Ebene der Scheitellinie liegenden Preſſungen zu Mittelkräften vereinigt und dieſe unter Umſtänden noch mit den an ſich äuſserſt geringfügigen Gewichten der einzelnen Schluſsſteine verbunden, ſo erhält man die in jener Ebene der Scheitellinie wirkenden Schübe, welche ſich nach den Rand- und Diagonalbogen fortpflanzen.

Daſs derartige Schübe vorhanden ſein müſſen, zeigt die folgende Ueberlegung. Beſtände die Kappe, ſtatt aus zwei Kugelſtücken mit den Mittelpunkten *m* und $m_,$, nur aus einem Kugelſtücke mit dem Mittelpunkte in *s* oder in einem ſonſtigen Punkte auf der wagrechten Projection der Scheitellinie *sv*, ſo würde, wie der Plan *M* angiebt, die Scheitellinie in der Symmetrie-Ebene $s_0 M$ eines Meridianſtreifens liegen, und die Mittelkraft *M* der Seitenpreſſungen, welche am untern Kranzſteine in dieſem Streifen entſteht, würde nothwendig auf Rand- und Diagonalbogen gelangen müſſen.

Für das Gebiet der Scheitellinie, welches in der Zeichnung durch die Fläche $v m_, s m v$ begrenzt iſt, ſind die Wölbkränze *0* bis *4* angenommen.

Fig. 528.



Der gröfste Meridianftreifen ift $p_{,}l$ mit der Symmetrie-Ebene ml. Sein Winkel φ ift mittels des rechtwinkeligen Dreieckes onm durch

$$\operatorname{tang} \frac{\varphi}{2} = \frac{on}{nm} = \frac{0{,}275}{5} = 0{,}55 ,$$

d. h. $\frac{\varphi}{2} = 3^{0}\,10'$ und $\varphi = 6^{0}\,20'$ gefunden.

Die ftatifche Unterfuchung diefes Meridianftreifens ift in den Plänen H und P für 5 Wölbfteine nach der Grundrifs-Projection $o\,5$ und der lothrechten Projection E im vergröfserten Mafsftabe ausgeführt.

Um die Strecken für den Rauminhalt, bezw. für die Gewichte der Kranzfteine, welche nur $0{,}12^{\,\mathrm{m}}$ Höhe befitzen, ohne eine befonders grofse Zeichnung anzufertigen, doch in einer Gröfse darzuftellen, welche zur fcharfen grapho-ftatifchen Behandlung geeignet ift, kann man die in Art. 249 (S. 363) näher angegebene Beftimmung folcher Strecken noch mit einer weiteren, beliebig gewählten Vergröfserung in einfacher Weife durch Zeichnung verfehen.

Benutzt man zum Zwecke der Vergröfserung jener Strecken eine befondere Grundlinie zy kleiner als $1^{\,\mathrm{m}}$, alfo ftatt der im Art. 239 (S. 364) in Fig. 441 gezeichneten Strecke zo gleich $1^{\,\mathrm{m}}$, eine weit kleinere Strecke $zy = \frac{1}{n}$ Met., fo entfteht nach Gleichung 232 (S. 363) $\frac{x}{1} = \frac{w}{d}$ nunmehr in Rückficht auf die Strecke $zy = \frac{1}{n}$ Met., weiter der Ausdruck $\frac{x}{\frac{1}{n}} = \frac{w}{d}$, woraus $w = nxd$ folgt. Hiernach wird w in n-facher Vergröfserung erhalten. Im Plane H ift $zy = 0{,}25^{\,\mathrm{m}} = \frac{1}{4}^{\,\mathrm{m}}$ gewählt. Da $n = 4$ ift, fo wird w fofort 4-fach vergröfsert dargeftellt.

Da endlich die Bafis $B = 0{,}1 = \frac{1}{10}^{\,\mathrm{m}}$ angenommen wurde, fo ift im Ganzen durch $\frac{1}{n} B = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{10} = \frac{1}{40}$ eine 40-fache Vergröfserung der Strecke für die Rauminhalte der Kranzfteine in der Zeichnung gewonnen.

Im Uebrigen ift die Beftimmung der Rauminhalte, bezw. der Gewichte diefer Steinkörper nach den im Art. 249 (S. 363) gemachten Angaben getroffen.

Soll nun der Rauminhalt v, z. B. des Wölbfteines 3, zahlenmäfsig ausgedrückt werden, fo ift die zugehörige Strecke $2\,3$ im Inhalts- oder Gewichtsplane zu meffen. Ihre Länge beträgt $0{,}15^{\,\mathrm{m}}$. Hiernach ift unter Berückfichtigung der 40-fachen Vergröfserung der Inhalt

$$v = 0{,}15 \cdot \frac{1}{40}^{\,\mathrm{cbm}} = 0{,}00375^{\,\mathrm{cbm}}.$$

Aus dem Grundrifs P des Meridianftreifens ergiebt fich für den Stein 3 durch Meffung eine mittlere Dicke, welche durch den Weg feines Schwerpunktes innerhalb des Streifens beftimmt ift, zu $0{,}125^{\,\mathrm{m}}$; feine Querfchnittsfläche wird nach dem Plane H zu $0{,}12 \cdot 0{,}25^{\,\mathrm{qm}} = 0{,}03^{\,\mathrm{qm}}$ gefunden; folglich ift fein Inhalt $v = 0{,}03 \cdot 0{,}125^{\,\mathrm{cbm}} = 0{,}00375^{\,\mathrm{cbm}}$, wie vorhin. Wiegt $1^{\,\mathrm{cbm}}$ Wölbmaterial, z. B. Backftein, $1600^{\,\mathrm{kg}}$, fo ift das Gewicht des Steines 3 gleich $0{,}00375 \cdot 1600^{\,\mathrm{kg}} = 6^{\,\mathrm{kg}}$.

In Uebereinftimmung mit dem in Art. 315 bis 321 (S. 460 bis 467) Gefagten ift unter Benutzung des Gewichtsplanes B die Stabilitäts-Unterfuchung des Meridianftreifens $o\,5$ im Plane H auf graphifchem Wege ausgeführt.

Für den erften Stein trifft die Gewichtslinie 1 die durch o geführte Wagrechte im Punkte β. Der Strahl βf, parallel mit dem Schenkel $1\,a$ des für die Fuge 1 feft gelegten Reibungswinkels $11\,a$ durch β gezogen, fchneidet die Fuge 1. Zieht man im Plane H den Strahl $1\,a$ parallel zu βf, bezw. parallel zum Schenkel $1\,a$ des Reibungswinkels $11\,a$, fo erhält man in der Strecke ao des Planes a die Mittelkraft der Seitenpreffungen des erften Kranzfteines und in $a\,1$ den Druck auf die Lagerfläche 1. Die Kraftrichtung βf fchneidet die Gewichtslinie 2 im Punkte f.

Ein Strahl $f\gamma$, parallel zur Mittelkraft $a\,2$ der Kräfte ao und $o\,2$ geführt, liefert auf der durch 1 gezogenen Wagrechten den Punkt γ. Eine Linie γg parallel zum Schenkel $2\,b$ des für die Fuge 2 gezeichneten Reibungswinkels $22\,b$ genommen, trifft wiederum die Fuge 2. Man kann alfo ohne Weiteres auch im Plane H den Strahl $2\,b$ parallel zu γg oder, was daffelbe ift, parallel zum Schenkel $2\,b$ des

Reibungswinkels *22b* ziehen, um in *ba* die Mittelkraft der Seitenpreffungen des zweiten Kranzfteines und in *b2* den Druck für die Lagerfuge *2* zu erhalten. Beim dritten Kranzfteine fchneidet die durch *g* parallel zu *b3* geführte Kraftftrecke die durch *2* gezogene Wagrechte im Punkte δ. Der durch δ parallel zum Schenkel *3c* des Reibungswinkels *33c* der Fuge *3* gelegte Strahl *S* trifft die Fuge *3* nicht mehr. Defshalb mufs zur Beftimmung der Mittelkraft *cb* der Seitenpreffungen des dritten Kranzfteines nach dem in Art. 318 (S. 463) behandelten dritten Falle die von δ ausgehende Kraftrichtung δ*h* durch den tiefften Punkt der Fuge *3* gelegt werden. Nimmt man hiernach *3c* parallel zu δ*h*, fo ift *cb* die gefuchte Mittelkraft der Seitenpreffungen des dritten Kranzfteines und *c3* der Druck in der Lagerfuge *3*. Da für die Fuge *3* der Reibungswinkel *33c* die Beftimmung der bezeichneten Mittelkraft nicht mehr beeinflufft, fo kann die weitere Zeichnung der Reibungswinkel für die Fuge *4* u. f. f. unterbleiben. Der Strahl δ*h* fchneidet die Gewichtslinie *4* im Punkte *h*. Die durch *h* parallel zur Refultirenden *c4* der Kräfte *c3* und *34* gezogene Gerade *h*ε trifft die durch *3* gelegte Wagrechte in ε. Von ε aus braucht man nur einen Strahl ε*i* durch den tiefften Punkt *4* zu legen, um, nachdem im Plane *H* durch *4* eine Parallele zu ε*i* gezogen ift, in der Strecke *dc* die Mittelkraft der Seitenpreffungen des vierten Kranzfteines und in *d4* die Preffung in der Lagerfuge *4* zu gewinnen. Fährt man in diefer Weife fort, fo kommt man an eine Fuge, welche ohne Weiteres bei genügender Gewölbftärke nicht mehr aufserhalb, fondern innerhalb ihrer Begrenzungspunkte von den Mittelkräften, wie folche in den Strahlen *c4*, *d5* u. f. f. fich ergeben, gefchnitten werden. Alsdann treten überall für die zugehörigen Kranzfteine keine Beftimmungen von Seitenpreffungen mehr ein. Durch einfache Zufammenfetzung der für die noch folgenden Fugen in Frage kommenden Kräfte, welche im Allgemeinen nicht mehr unmittelbar von dem Reibungswinkel und den Lagerkanten abhängig gemacht werden, ift alsdann, wie fich fpäter bei der Unterfuchung eines gröfseren Kuppelgewölbes noch zeigen wird, die Weiterführung der Stabilitäts-Ermittelungen in Bezug auf die Drücke in den Lagerflächen zu beforgen.

Da nunmehr die Mittelkräfte *ao*, *ba*, *cb*, *dc* der Seitenpreffungen der Kranzfteine für die im Wölbgebiete *vm*, *smv* der Scheitellinie liegenden Ringfchichten bekannt geworden find, fo laffen fich diefe Preffungen felbft wiederum durch Zeichnung, wie der Plan *P* kenntlich macht, leicht beftimmen. Die Preffungen p_1, p_2 u. f. f. liegen in wagrechten Ebenen und ftehen fenkrecht zu den Seitenebenen des Meridianftreifens.

Nimmt man im Plane *P* die Strecke $o_{,}a_{,}$ gleich der wagrechten Mittelkraft *ao* für die Seitenpreffungen am erften Kranzfteine des Planes *H*, zieht man $o_{,}p_{,}$ und $a_{,}p_{,}$ parallel zu den fenkrechten Strahlen $p_{,}$ des Meridianftreifens *m*, fo erhält man in den Strecken $o_{,}p_{,}$, bezw. $p_{,}a_{,}$ die gefuchten Seitenpreffungen.

Für den zweiten Kranzftein ift $o_{,}b_{,} = ba$ des Planes *H*. Die Strecken $o_1 p_2$, bezw. $p_2 b$ geben die Seitenpreffungen diefes Steines u. f. f. Sollten die Seitenpreffungen, z. B. für den dritten Stein, durch Rechnung unter Benutzung der hierfür auf graphifchem Wege gefundenen Mittelkraft *cb* des Planes *H* beftimmt werden, fo ift Gleichung 247 (S. 465) anzuwenden. Man erhält hiernach

$$p_3 = \frac{cb}{\varphi}.$$

Da der Winkel φ zu 6° 20′ ermittelt war, fo ift die Bogenlänge φ bei einem Halbmeffer 1 gleich 0,1105. Die Strecke *cb* mifft 0,19 Met., bezw. Cub.-Met. Hiernach wird

$$p = \frac{0{,}19}{0{,}1105} = \backsim 1{,}72 \text{ cbm}.$$

Die Zeichnung liefert $p_3 = o_1 p_3 = 1{,}75$ cbm.

Die Rauminhalte, bezw. Gewichte find jedoch in 40-facher Vergröfserung gezeichnet; mithin ift $p_3 = \frac{1{,}75}{40} = \backsim 0{,}044$ cbm zu fetzen, wofür bei Backfteinmaterial ein Gewicht von $0{,}044 \cdot 1600^{\text{kg}} = 70^{\text{kg}}$ entfteht.

Setzt man die in den Kränzen des Scheitelgebietes *vm*, *smv* wirkenden Seitenpreffungen, wie in Art. 319 (S. 466) und in der Zeichnung angegeben ift, der Reihe nach zu Mittelkräften *u*, *v*, *w*, *x* zufammen, fo ergiebt fich aus dem Plane *K* die Beanfpruchung des Randbogens und der Diagonalbogen durch diefes in der Scheitelebene *sv* wirkende Kräftefyftem.

Die Vereinigung diefes Syftemes mit den, meiftens jedoch in geringer Gröfse auftretenden, Gewichten der Schlufsfteine der früher erwähnten Lücken α liefert alsdann die in der Scheitelebene *sv* liegenden refultirenden Schübe für die Rand- und Diagonalbogen.

Bei Kappen mit fphäroidifcher Bufung kann der im Vorhergegangenen erklärte Gang der ftatifchen Unterfuchung beibehalten werden. Die gemeinfchaftliche loth-

rechte Axe der Meridianebenen, welche das Zerlegen der zu unterfuchenden Kappenftücke in fchmale Meridianftreifen angeben, ift die durch den Gipfelpunkt der kugelähnlichen Kappe geführte Gerade. Der Fufspunkt diefer lothrechten Axe kann auf der Kämpferebene des Gewölbes innerhalb oder aufserhalb der zugehörigen Kappe liegen; für das Zerlegen diefer fphäroidifchen Kappen bleiben die in Art. 322 (S. 469) für Kugelkappen angegebenen Mafsnahmen beftehen.

In gleicher Weife ift auch die ftatifche Unterfuchung der Kappen bei den flachen Kreuzgewölben, den Stern- und Netzgewölben, gleichgiltig, ob diefelben nach reinen Kugelflächen oder nach fphäroidifchen Flächen geftaltet find, zu führen.

323.
Stärke
der
Kappen.

Die Stärke der Gewölbekappen kann für die Praxis nach der Gröfse der Preffungen, welche auf die Stofs-, bezw. Lagerflächen der Wölbkränze gelangen, berechnet werden.

Wie aus der ftatifchen Unterfuchung des oberen Theiles eines Meridianftreifens im Plane H in Fig. 528 hervorgeht, find für die Beftimmung der Gewölbftärke eines Kranzes, bei möglichft ftrengem Verfahren, die Abmeffungen eines Kranzfteines zu berechnen, einmal in Rückficht auf die normalen Preffungen der Seitenflächen und fodann in Bezug auf den Druck feiner Lagerfläche. Da es an einer genauen Bekanntfchaft von der wirklich ftattfindenden Druckvertheilung am gepreſften Steine und der entftehenden Formänderung deffelben mangelt, ift die bereits in Art. 136 (S. 181) angegebene, auf Erfahrung geftützte Grundlage für die weitere Durchführung der Rechnung in praktifcher Beziehung zu verwerthen.

Dem Wefen der ftatifchen Unterfuchung der bufigen Kappen der gothifchen Kreuzgewölbe entfprechend, kann aber bei der Berechnung der Gewölbftärke nicht, wie bei den cylindrifchen Gewölben, von einem möglichft kleinften Werthe eines Horizontalfchubes in einer oberen Scheitelfuge, welcher bei Kuppelgewölben fogar gleich Null ift, fondern nur von der Gröfse der normalen Preffungen, welche die Stofs-, bezw. Lagerflächen eines Kranzfteines beeinfluffen, füglich die Rede fein. Defshalb kann man für die Praxis die Gewölbftärke nach den für Normaldruck ermittelten Gleichungen 148, bezw. 149 (S. 186) bei der Wölbung aus Quadern, fo wie nach den Gleichungen 150, bezw. 151 (S. 187) bei Backfteinmaterial von guter Befchaffenheit beftimmen. Hierbei hat man, da die Gewölbftärke in den meiften Fällen für alle Kranzfchichten gleich grofs genommen wird, den Normaldruck zu ermitteln, welcher auf die Fufsfläche des gröfsten Meridianftreifens einer Kappe kommt. Aber wenn auch diefelbe Gewölbftärke nicht durchweg für alle Wölbfchichten, vermöge etwa fehr ftark nach dem Fufse des Streifens anwachfender Drücke, beibehalten werden kann, fo ift man mit Hilfe der ftatifchen Unterfuchung und der erwähnten Gleichungen doch ftets in der Lage, für irgend eine Kranzfchicht die Gewölbftärke ausfindig zu machen.

324.
Beifpiel.

Beifpiel. So ift in Fig. 528 (S. 472) für den Stein $\mathfrak{Z}$ im Plane H eine normale Preffung $p_3 = 0{,}044$ cbm gefunden. Die Breite der Kranzfchicht ift bei der Theilung des Meridianftreifens $o\mathfrak{Z}$ zu $0{,}25$ m angenommen; mithin mufs, um die für den Normaldruck bei einer Tiefe gleich 1 m entwickelten Gleichungen benutzen zu können, der Normaldruck für die Stofsflächen des Steines $\mathfrak{Z}$ berechnet werden, als

$$N_3 = \frac{p_3 \cdot 1}{0{,}25} = \frac{0{,}044 \cdot 1}{0{,}25} = 0{,}176 \text{ cbm}.$$

Setzt man diefen Werth in Gleichung 150 (S. 187) für N, fo ergiebt fich bei Backfteinmaterial eine Stärke

$$d_1 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - 0{,}176)\, 0{,}176} = 0{,}065 \text{ m};$$

d. h. gleich einer Backfteindicke. In der Zeichnung ift in Rückficht auf eine gröfsere Normalpreffung am Fufse des gröfsten Meridianftreifens die Kranzftärke gleich $0{,}12$ m, gleich einer Backfteinbreite, genommen.

Der Druck $c\mathfrak{z}$ für die untere Lagerfläche des Steines $\mathfrak{z}$ ergiebt fich, unter Berückfichtigung der 40-fachen Vergröfserung der Kraftftrecke $c\mathfrak{z}$, im Plane H zu $\frac{0{,}475}{40} = \infty\, 0{,}012$ cbm.

Nach dem Grundrifs m des Meridianftreifens ift die Tiefe der unteren Lagerfläche gleich $0{,}15$ m. Die aus $c\mathfrak{z}$ für diefe Fläche entftehende normale Seitenkraft ift etwas kleiner als $c\mathfrak{z}$, möge aber hier gleich der Strecke $c\mathfrak{z}$ gefetzt werden.

Hier wird der in Rechnung zu ftellende Normaldruck für eine Tiefe gleich 1 m

$$N = \frac{0{,}012 \cdot 1}{0{,}15} = 0{,}08 \text{ cbm},$$

alfo kleiner, als der vorhin für die Stofsflächen berechnete Werth N_3. In diefem Falle ift der Werth für N bei der Berechnung der Gewölbftärke aufser Acht zu laffen.

Umgekehrt aber ift bei Kranzfchichten, deren Normalpreffungen in den Stofsflächen, die felbft den Werth Null annehmen können, kleinere Gewölbftärken ergeben, als der Normaldruck der Lagerflächen fordert, der letztere zu berückfichtigen.

Hat das Gewölbe aufser feinem Eigengewicht noch eine Uebermauerung oder eine fonftige ruhende Belaftung aufzunehmen, fo ift diefe Ueberlaft, auf das Gewicht des Wölbmaterials in bekannter Weife zurückgeführt und bei der Lamellentheilung des Meridianftreifens entfprechend berückfichtigt, bei der ftatifchen Unterfuchung eben fo zu behandeln, wie früher bei den belafteteten cylindrifchen Gewölben gezeigt wurde.

325. Empirifche Regeln.

Im Allgemeinen bedürfen die unbelafteten bufigen Kappen der gothifchen Kreuzgewölbe nur einer geringen Stärke. Bei der grofsen Mannigfaltigkeit in der Geftaltung diefer Gewölbe find empirifche Regeln, welche alle Fälle der verfchiedenen Gewölbeanlagen umfaffen follten, für die Feftftellung der Kappenftärke von keinem Werthe.

Hat das Rippen- und Kappenfyftem in conftructiver Beziehung eine richtige, ungekünftelte Anordnung erfahren, fo können bei der Verwendung von gutem Backfteinmaterial, welches jetzt vorzugsweife zur Wölbung der Kappen benutzt wird, forgfältige Ausführung und guter Mörtel vorausgefetzt, unbelaftete bufige Kappen bis rund 10 m Spannweite mit 12 cm, d. h. $\frac{1}{2}$ Backftein Stärke angenommen werden.

Erfolgt die Wölbung mit geeignetem natürlichem Steinmaterial, fo beträgt die Kappenftärke in der Regel nicht unter 20 cm, welche ausnahmsweife bei ausgezeichnetem Material wohl bis zu 10 cm herabfinkt. Bei belafteten Kappen find die angegebenen Stärken zu vergröfsern. Den beften Auffchlufs über die anzunehmende Gewölbftärke wird man immer durch die ohne grofse Mühe auszuführende ftatifche Unterfuchung der Kappen erhalten.

β) Stabilität der Gewölberippen.

326. Gewölberippen.

Die Rippenkörper der gothifchen Kreuzgewölbe find in den meiften Fällen Beftandtheile cylindrifcher Gewölbe, deren Bogenlinie, abgefehen von einem Halbkreife oder einem Korbbogen, am häufigften als Spitzbogen mit Kreisbogenfchenkeln angenommen wird. Liegen die Leitlinien der Schenkel des Spitzbogens in einer und derfelben lothrechten Ebene und ift die Belaftung beider Bogenfchenkel diefelbe, fo bildet der Rippenkörper ein cylindrifches, fymmetrifch geformtes und fymmetrifch belaftetes Gewölbftück. Eben fo können auch Rippenkörper in befonderen Fällen als einfchenkelige Theile eines Spitzbogens und fomit als einhüftige oder anfteigende Bogen auftreten. Wie nun auch an fich Form, Anordnung und Belaftung der Rippenkörper fein mögen; ftets find für ihre ftatifche Unterfuchung die für die

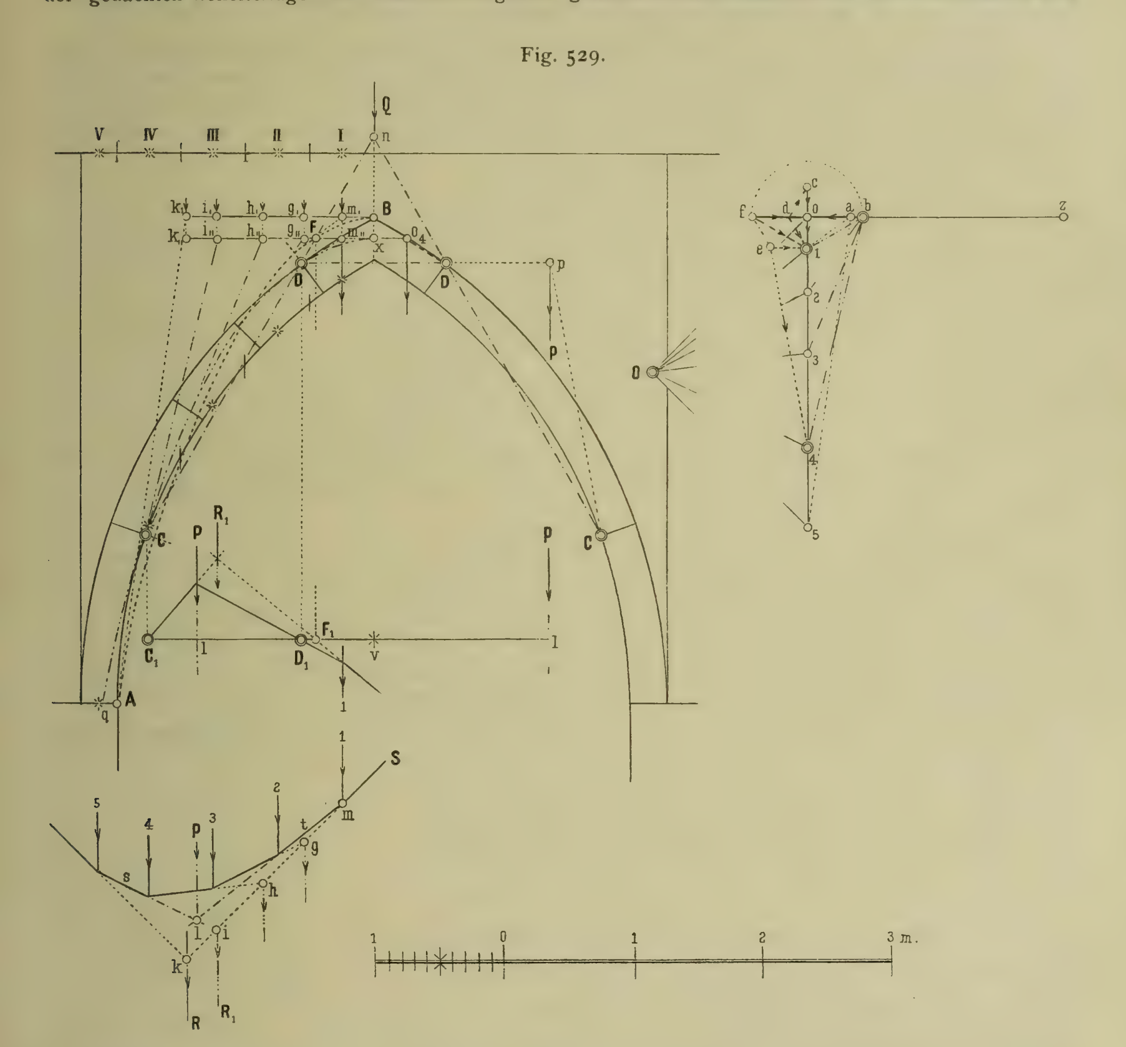
Ermittelung des Gleichgewichtes cylindrifcher Gewölbe gegebenen Grundlagen als Richtfchnur zu nehmen.

327.
Spitzbogengewölbe.

Für die Stabilitäts-Unterfuchung eines fymmetrifch geformten und fymmetrifch belafteten Spitzbogengewölbes ift Fig. 529 als Beifpiel in Betracht gezogen.

Die Tiefe des Gewölbes fei gleich 1 m. Nach bekannter Zerlegung in Theilftreifen *I*, *II* u. f. f. und Beftimmung der Gewichte *o 1*, *1 2* u. f. f. diefer prismatifchen Theilkörper unter Benutzung der Reductions-Bafis $oz = 2$ m, ift unter Annahme eines möglichft kleinften, durch den höchften Punkt *B* der gedachten Scheitelfuge des Gewölbes wagrecht gehenden Gewölbfchubes für die Gewölbhälfte *BA*

Fig. 529.



eine Mittellinie des Druckes für die Punkte *B* und den vorderen Punkt *A* der Widerlagsfuge gezeichnet. Diefelbe verläfft jedoch die Stirnfläche des Gewölbes oberhalb der Rückenlinie und unterhalb der inneren Wölblinie; fie kennzeichnet in den Punkten *D* und *C* zwei Bruchfugen, und folglich ift der für diefe vorläufige Mittellinie des Druckes ermittelte Horizontalfchub *a o* noch nicht fähig, den Gleichgewichtszuftand im Wölbfyftem herzuftellen.

Hiernach tritt die Aufgabe heran, eine Mittellinie des Druckes zu finden, welche, mit einem gröfseren Horizontalfchube behaftet, durch die Punkte *D* und *C* geht und dem entfprechend eine tiefere Lage des Angriffspunktes *x* in der gedachten Scheitelfuge für den neuen Gewölbfchub bedingt.

Zur Auffindung diefer Drucklinie und der Lage des Punktes *x* kann man das in Art. 146 (S. 208) Gegebene benutzen. Hiernach erhält man in der durch *C* und *D* geführten Geraden *Cn* die Polaraxe und im Plane $C_1 l$ unter Verwerthung des Seilpolygons *S* in F_1 die wagrechte Projection des Fixpunktes F_1

welcher für die Polaraxe Cu in Frage kommt. Durch den Punkt F mufs alfo der Strahl des Seilpolygons $o_4\, i_{,,}\, C$ mit der Refultirenden $R_{,} = o\,4$ im Gewichtsplane gehen. Der durch F zu legende Strahl hat aber vermöge der gleichen Form und Belaftung der Gewölbfchenkel die wagrechte Lage. Der Schnitt x diefer durch F geführten Wagrechten mit der gedachten Scheitelfuge B giebt den Angriffspunkt des gefuchten neuen Gewölbfchubes $b\,o$, welcher in feiner Gröfse auf bekanntem Wege als Strecke $b\,o$ mittels des parallel zu $Ci_{,,}$ durch 4 gezogenen Strahles $4b$ erhalten wird. Die mit dem Gewölbfchube $b\,o$ gezeichnete Drucklinie $x\,D\,C\,q$ verbleibt ganz innerhalb der Stirnfläche $A\,B$; mithin ift der Gewölbfchub $b\,o$ die nunmehr möglichft kleinfte Horizontalkraft, welche nöthig und fähig ift, den Gleichgewichtszuftand gegen Drehung im Gewölbfyftem aufrecht zu erhalten. Da eine Gefahr des Gleitens der Steine auf den Fugen nicht bekundet wird, fo ift die Stabilitäts-Unterfuchung abgefchloffen.

Für die Stärke des Gewölbes ift zunächft die Gröfse des Schubes $b\,o$ zu berückfichtigen. Es ift $b\,o = 0{,}47^{\,m}$ gemeffen; da die Bafis $o\,z = 2^{m}$ gewählt war, fo ift $b\,o = 0{,}47 \cdot 2 = 0{,}94^{\,qm}$ oder, bei der Tiefe des Gewölbes gleich 1^{m}, mit $0{,}94^{\,cbm}$ in Rechnung zu ftellen. Für Quadermaterial ift nach Gleichung 142 (S. 185), wenn $H = b\,o = 0{,}94$ Quadr.-Met., bezw. Cub.-Met. gefetzt wird, die fenkrecht zur innern Wölblinie anzunehmende Stärke

$$d = \frac{1}{60} \sqrt{(180 - 0{,}94)\, 0{,}94} = \backsim 0{,}22^{\,m}.$$

Der Normaldruck für die wagrechte Kämpferfuge A ift gleich der Gewichtsftrecke $o\,5$ mal Bafiszahl $o\,z$, d. h. $= 2{,}425 \cdot 2 = 4{,}85$ Quadr.-Met., bezw. Cub.-Met.

Nach Gleichung 148 (S. 186) wird

$$d_1 = \frac{1}{180} \sqrt{(540 - 4{,}85)\, 4{,}85} = \backsim 0{,}28^{\,m},$$

alfo gröfser als d. Mithin würde die Gewölbftärke durchweg zu $0{,}28^{\,m}$ angenommen werden. Sie war in der Zeichnung zu $0{,}30^{\,m}$ gewählt.

Ein anderer Weg zur Beftimmung der Gröfse des Gewölbfchubes $f\,o = b\,o$ und der Lage des Angriffspunktes x für die durch D und C gehende Drucklinie ift der folgende.

Das Stück $D\,B\,D$ des Gewölbes befitzt ein Gewicht $c\,1$, welches gleich dem zweifachen der Strecke $o\,1$ ift, während das Gewicht jedes Stückes $D\,C = P$ gleich der Strecke $1\,4$ wird. Zerlegt man das Gewicht $c\,1$ in n nach den Richtungen $n\,D$, $n\,D$ in die beiden gleichen Seitenkräfte $c\,d$, $d\,1$, fo wirkt im Punkte D zunächft eine folche Kraft $d\,1$. Aufserdem wirkt in D eine wagrechte Kraft $e\,1$, welche als Seitenkraft der durch $p\,C$ gehenden und hiermit der Lage nach beftimmten Refultirenden $e\,4$ in Verbindung mit der bekannten Kraft P im Kräftedreieck $1\,4\,e$ fofort zu ermitteln ift. Die in D wirkfame, aus $d\,1$ und $e\,1$ entftehende Mittelkraft $f\,1$ ift die im Punkte D auftretende Preffung. Die wagrechte Seitenkraft $f\,o$ diefer Preffung ift der gefuchte Horizontalfchub. Der parallel zu $f\,1$ gezogene Strahl $D\,o_4$ fchneidet die Gewichtslinie des Stückes $B\,D$ im Punkte o_4. Die durch o_4 gelegte Wagrechte $o_4\, k_{,,}$ trifft die angenommene lothrechte Scheitelfuge B im gefuchten Punkte x.

Fig. 530.

Aus dem Verlaufe der Mittellinie des Druckes $x\,D\,C\,q$ erkennt man ihre ziemlich fteile Stellung zwifchen den Bruchfugen C und D. Hiernach könnte zur Erzielung einer ftatifch günftigen Bogenform unter Umftänden eine Umgeftaltung des urfprünglichen Spitzbogens in einen Korbbogen derart vorgenommen werden, dafs nach den Angaben von *Viollet-le-Duc*[184]) der mittlere, überwiegende Theil B (Fig. 530) mit einem gröfseren Halbmeffer $b\,B$ befchrieben würde, als die oberen und unteren kürzeren Bogenftücke A, deren gemeinfchaftlicher Mittelpunkt in a liegt.

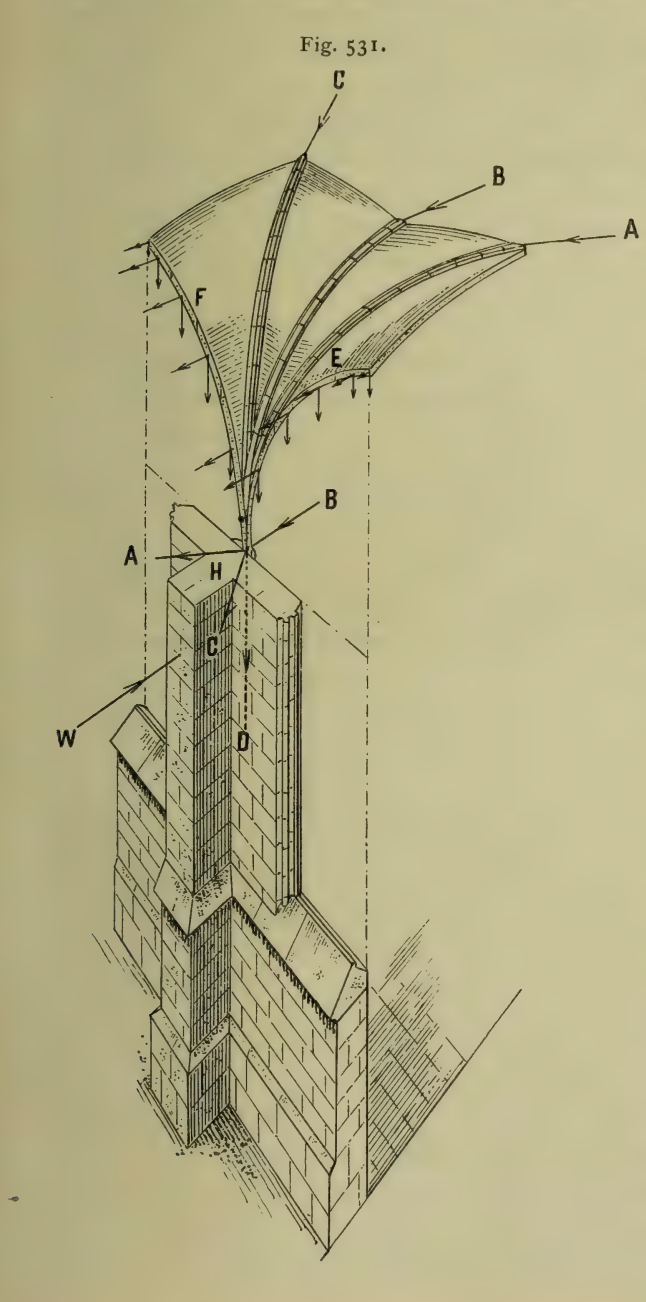
328. Statifche Unterfuchung.

Ift das gefammte Rippenfyftem eines gothifchen Kreuzgewölbes planmäfsig feft gelegt, ift die Kappenform und die Art der Kappenwölbung, auch die etwaige

[184]) Siehe: VIOLLET-LE-DUC. *Dictionnaire raifonné de l'architecture françaife etc.* Band 4. Paris 1866. S. 29.

zufällige Belaftung des Gewölbes beftimmt, fo find zunächft, den in Art. 315 (S. 460) unter α gegebenen Entwickelungen entfprechend, die von den Gewölbekappen auf die einzelnen Rippenkörper gelangenden Gewichte und Preffungen zu ermitteln. Sodann find die hieraus refultirenden Kräfte als äufsere angreifende Kräfte für den Rippenkörper feft zu ftellen, und endlich ift unter Berückfichtigung des Eigengewichtes, einfchliefslich einer vielleicht vorhandenen befonderen Belaftung der Rippen, die eigentliche ftatifche Unterfuchung des Rippenfyftems auch unter Beobachtung der gewählten Spitzbogenform doch ihrem Wefen nach ganz in der Weife durchzuführen, wie in Art. 253 (S. 375) und 254 (S. 377) bei der Unterfuchung der Stabilität der Gratbogen cylindrifcher Kreuzgewölbe eingehend angegeben und durch Beifpiele erklärt ift.

Fig. 531.



329.
Stärke der Rippen.

Eben fo ift nach der Beftimmung des für den Rippenbogen entftehenden Horizontalfchubes, bezw. Normaldruckes, unter Anwendung der Gleichungen 142 u. 148 (S. 185 u. 186), bezw. der Gleichungen 145 u. 150 (S. 186 u. 187) die Stärke der Rippen bei Anwendung von Quadermaterial oder von Backfteinen zu berechnen.

330.
Winddruck.

Unter befonderen baulichen Verhältniffen kann aber für die Standfähigkeit der Gewölberippen oder auch des gefammten Gewölbfyftems ein ftarker Winddruck, welcher auf die Flächen der feitlichen Begrenzungen der Gewölbeanlage gelangt, von nachtheiliger Wirkung fein. Beftimmt man nach Anleitung von Fig. 531 für die Kappengebiete E und F mit ihrer Gurtrippe B und ihren Diagonalrippen A und C die für eine zugehörige feitliche Begrenzungsfläche in Betracht kommenden Gewölbfchübe, fo läfft fich für diefe den Widerlagskörper H des Gewölbes angreifenden Kräfte an fich ein ftandfähiges Widerlager fchaffen. Wirkt nun aber auf diefen Widerlagskörper von aufsen der Winddruck ein, deffen refultirende, winkelrecht zur Seitenfläche des Widerlagers gerichtete Preffung W die aus den Gewölb-

fchüben entftehende Mittelkraft an Gröfse übertrifft, fo wird diefer Ueberfchufs des Winddruckes das Gewölbe in Mitleidenfchaft ziehen und, durch daffelbe fliefsend, fowohl ein etwa vorhandenes Pfeiler- oder Säulenfyftem, wie auch fchliefslich die andere feitliche Aufsenmauer des Gewölbgebietes befonders beanfpruchen. Während diefes Vorganges erleiden auch die für die Rippen früher ohne Berückfichtigung des Winddruckes etwa gezeichneten Mittellinien des Druckes eine Veränderung, deren gewiffenhafte Beftimmung erft Auffchlufs über die nothwendige Stärke diefer Gewölbtheile zu geben vermag. Mit diefen Veränderungen der Drucklinien in den Rippen ftehen wiederum Veränderungen in den Kappen und im Stützengebilde der Gewölbeanlage in innigem Zufammenhange. Eine durchweg fcharfe und genaue Ermittelung diefer fämmtlichen Veränderungen ift aber mit fo grofsen Schwierigkeiten verknüpft, dafs man nur durch Näherung einigen Auffchlufs über die erwähnten Einflüffe des Winddruckes auf das Wölbfyftem gewinnen wird. Selbft die Annahme über die Gröfse des in Rechnung zu ftellenden Winddruckes ift noch Schwankungen unterworfen. Der in Deutfchland noch mannigfach angenommene gröfste Werth von 120 kg Druck auf 1 qm einer vom Winde fenkrecht getroffenen Fläche ift neueren Erfahrungen nach bei herrfchenden Stürmen erheblich überfchritten. Immerhin darf der Einflufs des Windes bei Gewölbeanlagen zwifchen hohen Begrenzungsmauern nicht aufser Acht gelaffen werden. Defshalb ift dahin zu fehen, dafs die dem Gewölbfchube und dem Winddrucke ausgefetzten Begrenzungsmauern der Gewölbeanlage zur Erreichung entfprechender Sicherheit an und für fich mit ihren etwa vorhandenen Strebepfeilern, bezw. Strebebogen zunächft vollftändige Standfähigkeit gegen den antretenden gefammten Gewölbfchub befitzen, fodann aber auch eine folche Stärke erhalten, dafs fie fähig find, dem Winddruck allein Widerftand zu leiften, ohne dafs ein nachtheiliger, die Gröfse des Gewölbfchubes übertreffender Winddruck durch das Gewölbe felbft auf die übrigen Gewölbftützen oder Widerlager übertragen wird.

Treten Fälle ein, wobei für die Begrenzungsmauern oder für diefe und die Stützen des Gewölbes nur eine Stärke zugelaffen werden kann, welche nicht verhindert, dafs der Ueberfchufs des Winddruckes die Gewölb-Conftruction gleichfam für fich als Laufbahn in Anfpruch nimmt, fo mufs die Stabilitäts-Unterfuchung der ganzen Anlage durch das Auffuchen derjenigen Drucklinien vorgenommen werden, welche nach Ermittelung der fämmtlichen fich geltend machenden äufseren Kräfte für die Gewölberippen, Gewölbekappen und für die Widerlagskörper den erforderlichen Auffchlufs über den Gleichgewichtszuftand des ganzen Syftemes zu geben vermögen.

Die hierzu erforderliche, fehr umfangreiche und in mehr oder weniger hohem Grade doch mit Mängeln behaftete Arbeit kann wefentlich vereinfacht und für die Praxis genügend in abgekürzter Weife ausgeführt werden, fobald man den etwa vorhandenen Ueberfchufs der Gröfse des Winddruckes nur als allein wirkfam für den Gurtbogen *B* (Fig. 531) zwifchen der Kappengruppe von *E* bis *F* betrachtet. Nach diefer Annahme läfft fich das Auffinden der Mittellinie des Druckes in der Gurtrippe *B*, den vorhandenen Gewölbpfeilern, den Widerlagern mit oder ohne Strebepfeilern, bezw. Strebebogen ganz im Sinne des in Art. 147 (S. 213) Vorgetragenen bewirken und hiernach die Stabilität des Baukörpers beurtheilen.

Stellt fich bei diefen Unterfuchungen ein nicht gerade fehr günftiger Verlauf der Mittellinien des Druckes, namentlich für die Gewölbpfeiler oder die feitlichen Widerlager, heraus, fo kann man fehr häufig durch das fchon mehrfach erwähnte

Mittel einer geeigneten Uebermauerung des Gurtbogens *B*, unter Beachtung des in Art. 143 (S. 197) Gefagten, einen fachgemäfsen Verlauf der in Frage kommenden Drucklinien herbeiführen und danach befondere Vortheile für eine geficherte Standfähigkeit der einzelnen Bautheile erzielen.

331. Empirifche Regeln.

Die äufserft mannigfaltig in gröfster Anzahl ausgeführten gothifchen Kreuzgewölbe zeigen hinfichtlich der Abmeffungen der Rippenquerfchnitte fo grofse Verfchiedenheiten, dafs das Aufftellen empirifcher Regeln für die Beftimmung der Stärke der Gewölberippen zwecklos erfcheinen mufs. Schon die aus architektonifchen Bedingungen hervorgehende Profilirung der Rippen veranlafft häufig einen weit gröfseren Rippenquerfchnitt, als die Preffungen erfordern, welche in Abhängigkeit von einem günftigen Verlaufe der Drucklinien im Rippenkörper entftehen.

Nimmt man zunächft eine gewiffenhaft durchgeführte ftatifche Unterfuchung der Gewölberippen vor und beftimmt man hiernach, wie in Art. 139 (S. 193) angegeben wurde, die Stärke der Rippen, fo läfft fich fchliefslich, bei Vermeidung einer Herabminderung des berechneten Rippenquerfchnittes, die geplante Profilirung deffelben vornehmen.

Oft ergiebt eine folche Unterfuchung allerdings auch fo geringe Querfchnittsgröfsen, dafs die praktifche Ausführbarkeit der Rippen gröfsere Abmeffungen erforderlich macht. Immerhin follte diefe ftatifche Unterfuchung nicht ohne Weiteres von der Hand gewiefen werden.

Rippen aus Quadern erhalten bei Gewölben mit rund 10 m Diagonallänge wohl ungefähr eine Breite von 18, 20 bis 25 cm und, einfchliefslich des Rückenanfatzes, eine Höhe von 25, 30 bis 36 cm. Rippen aus Backfteinen oder befonderen, kleineren oder gröfseren Formfteinen können bei Gewölben mit gleicher Diagonalweite etwa 1 bis 1 1/2 Stein breit und mit dem Rückenanfatze 1 1/2 bis 2 Stein hoch genommen werden.

Kleinere Gewölbe zeigen mehrfach ziemlich geringe Rippenquerfchnitte mit 9 cm Breite und 15 cm Höhe ohne Rückenanfatz. Diefe Abmeffungen dürften felten noch eine weitere Verminderung erfahren.

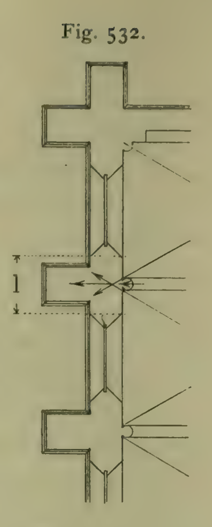
γ) Stabilität der Widerlager.

332. Widerlager ohne Strebebogen.

Werden die Umfangsmauern, die hauptfächlichften Widerlagskörper der Anlage eines gothifchen Kreuzgewölbes, im Sinne des in Art. 298 (S. 431) Gefagten in einzelnen Stützpunkten, mögen diefelben durch Strebepfeiler an fich fchon verftärkt fein oder nicht, durch die Kräfte beanfprucht, welche mit Hilfe der im Vorhergegangenen befprochenen ftatifchen Unterfuchung der Gewölbekappen und ihres Rippenfyftemes ihrer Lage, Gröfse und Richtung nach bekannt werden, fo läfft fich unter Verwendung diefer Kräfte die Prüfung der Stabilität der Widerlager einleiten. Sieht man zunächft von einer befonderen Verfteifung derfelben durch Strebebogen ab, fo erfolgt die Fortführung der Stabilitäts-Unterfuchung und die damit im Zufammenhange ftehende Beftimmung der Stärke der Widerlager unter Anwendung der graphifchen Statik auf demfelben grundlegenden Wege, welcher in Art. 236 (S. 378) zu gleichem Zwecke beim cylindrifchen Kreuzgewölbe gekennzeichnet ift. Beim Feftftellen der Grundrifsfläche des Widerlagskörpers wird die Grundrifslänge l (Fig. 532) unter richtiger Würdigung der gefchaffenen Planlage möglichft gering gewählt, um hierdurch eine zu Gunften des Sicherheitsgrades des Stützkörpers angebahnte Verringerung feines Gewichtes in Rechnung zu ftellen. Die

Gewichtsbeftimmung, fo wie die Darftellung der Mittellinie des Druckes im Widerlagskörper erfolgt in bekannter Weife. Für den Verlauf der Drucklinie ift zu beachten, dafs zur Erzielung einer entfprechenden Sicherheit die Querfchnittsfläche des Widerlagskörpers diefe Linie an jeder Stelle innerhalb des fog. Kernes[185]) des Querfchnittes birgt und dafs aufserdem eine Gefahr in Rückficht auf Gleiten ausgefchloffen bleibt.

Fig. 532.



333. Empirifche Regel.

Eine hier und dort angegebene empirifche Regel, wonach die Stärke der Widerlager zwifchen $^1/_4$ bis $^1/_7$ der Spannweite der Gewölbe wechfelt, erfcheint, ohne eine Rückfichtnahme auf die Höhe des Widerlagers und vermöge der durch die Zahlenwerthe angegebenen, weit von einander abftehenden Grenzen, nicht befonders beachtenswerth. Eine leicht zu bewirkende Stabilitäts-Unterfuchung der Widerlager befreit von den Mafsnahmen der an fich oft unficheren empirifchen Regeln.

334. Widerlager mit Strebebogen.

Auf etwas anderem, nunmehr zu berückfichtigendem Wege ift die Stabilitäts-Prüfung der Widerlager vorzunehmen, wenn die in Art. 299 (S. 432) erwähnten Strebe- oder Schwibbogen in Gemeinfchaft mit Strebepfeilern als befondere Stütz-Conftructionen des eigentlichen Gewölbewiderlagers auftreten follen.

Das innere Wefen diefer Stabilitäts-Unterfuchung ftimmt mit dem des grundlegenden Falles der Prüfung der Standfähigkeit des gemeinfchaftlichen Widerlagers für Tonnengewölbe mit verfchiedener Spannweite und ungleich grofser Belaftung, welcher in Art. 147 (S. 213) bereits näher behandelt ift, überein. Der meiftens in der Form eines einhüftigen Gewölbes erfcheinende Strebebogen ändert die Richtfchnur des Prüfungsweges nicht. Die Stabilitäts-Unterfuchung von einhüftigen Gewölben, welche demnach auch hier wieder Berückfichtigung finden mufs, ift in Art. 146 (S. 208) erklärt.

Der Gang, welcher bei der ftatifchen Unterfuchung der Widerlager mit Strebebogen befolgt werden kann, foll unter Benutzung der Darftellungen auf neben ftehender Tafel befprochen werden.

Der in der lothrechten, als Kräfteebene feft gefetzten Symmetrie-Ebene des Widerlagers G und des Strebebogens $7o$ wirkende refultirende Gewölbfchub S der eigentlichen Gewölbanlage, welcher unter Beachtung des in Art. 328 (S. 478) Gefagten vorweg zu beftimmen ift, vereinigt fich mit dem Gewichte G des in feiner Grundrifsfläche und Höhenentwickelung im Gewölbeplane beftimmten Widerlagskörpers zu einer Mittelkraft M. Gröfse, Lage und Richtung der letzteren bleiben unveränderlich, fo fern der Gewölbfchub S und das Gewicht G keiner Aenderung unterzogen werden. Hiernach ift alfo der Strahl Mm, worin die Mittelkraft M wirkt, eine fefte Gerade. Schneidet, wie hier der Fall ift, diefer Strahl die als feft und vollftändig tragfähig vorausgefetzte Fufsebene mf der Widerlagsmauer aufserhalb ihrer Grundfläche im Punkte m, fo wird die Kraft M den Widerlagskörper um die Kante c drehen.

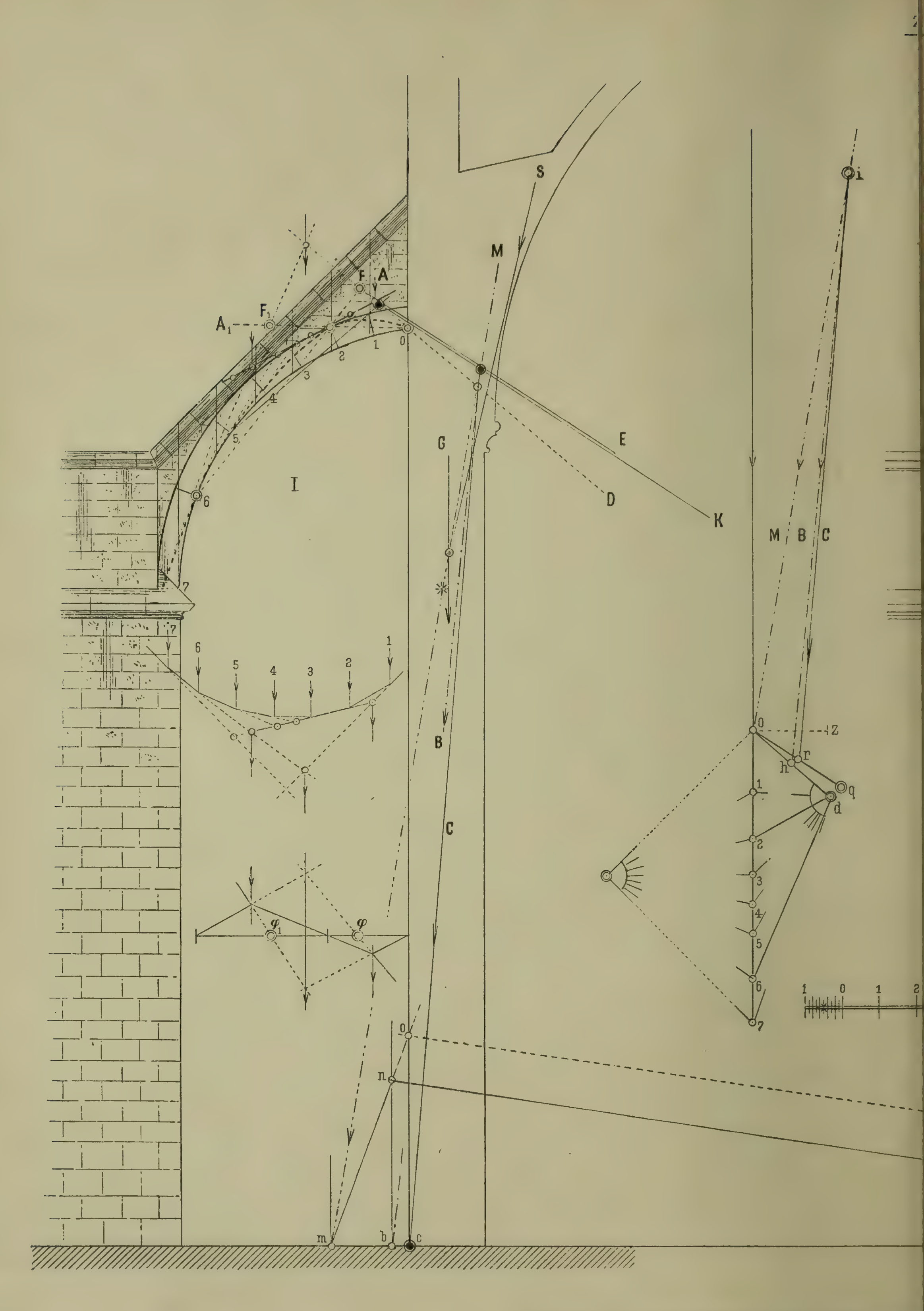
Wird zur Sicherung des Widerlagers gegen Drehung ein Strebebogen $7o$ mit zugehörigem Strebepfeiler angeordnet, fo können die Einflüffe, welche diefer Strebebogen auf das Widerlager ausübt, und umgekehrt, die Einwirkungen, welchen der Strebebogen durch den Gewölbfchub S, bezw. durch die Mittelkraft M unterworfen ift, in geeigneter Weife durch Zeichnung zur Erfcheinung gebracht werden.

Zunächft ift die ftatifche Unterfuchung des Strebebogens felbft vorzunehmen. Die Tiefe deffelben fei gleich 1^m.

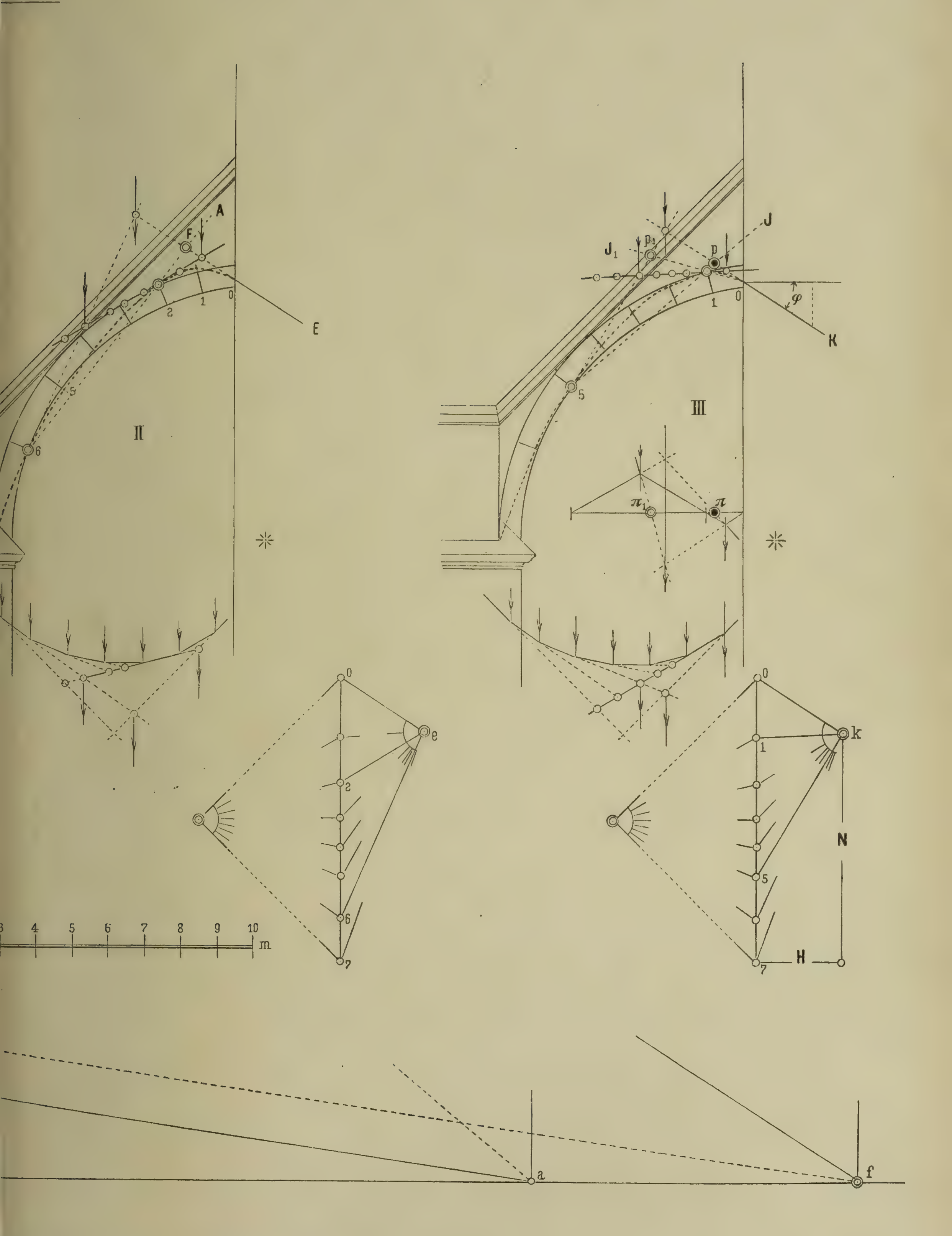
Unter Einführung einer beliebig gewählten Bafis $oz = 2^m$ ift, entfprechend den Angaben in Art. 146 (S. 208), ein Gewichtsplan $o7$ gezeichnet und unter Anwendung der Polaraxen $6A$ und oA_1 mit Hilfe der Fixpunkte F, bezw. F_1 die punktirt dargeftellte Drucklinie ermittelt, welche einem möglich kleinften Gewölbfchube $D = do$ zukommt. Diefelbe verbleibt ganz in der eigentlichen Gewölbfläche des Strebebogens.

185) Siehe: Theil I, Band 1, zweite Hälfte, 2. Aufl. (Art. 112, S. 88) diefes »Handbuches«.





Statifche Unterfuchung des Widerlage



mit Strebebogen für ein Kreuzgewölbe.



Befitzt der Strebebogen eine gröfsere oder geringere Tiefe, als 1 m, fo ift der Gewichtsplan *o 7* offenbar nach der Vorfchrift in Art. 249 (S. 363) zu zeichnen. Die übrigen Beftimmungen erleiden dadurch im Wefen keine Aenderungen.

Der Gewölbfchub *D* wirkt in der Richtung *o D* auf das Widerlager ein. Er vereinigt fich mit *M* zu einer neuen Mittelkraft *B*. Um diefe Kraft im vollften Einklange mit der gewählten Bafiszahl $oz = 2^m$ und mit dem Einheitsgewichte des Wölbmaterials des Strebebogens im Kräfteplane als Linie von richtiger Länge darftellen zu können, ift vor allen Dingen die Kraft *M*, welche aus der ftatifchen Unterfuchung des Hauptgewölbes und feines zugehörigen Widerlagsftückes hervorgegangen ift, im Kräfteplane in genauer Streckenlänge einzutragen. Ift z. B. die Beftimmung von *M* unter Benutzung einer anderen Bafiszahl und unter Berückfichtigung eines vom Einheitsgewichte des Materials des Strebebogens abweichenden Einheitsgewichtes des Materials des Hauptgewölbes oder auch des Widerlagskörpers, wie häufig der Fall ift, erfolgt, fo mufs die Länge der Strecke *M* eben fo, wie in Art. 256 (S. 378) z. B. für das Feftlegen des Druckes in einem Gratbogen gefchehen ift, berechnet werden.

Eine Vorunterfuchung und die zugehörige Berechnung haben für *M* eine Strecke von $30{,}4^m$ ergeben. Zieht man im Gewichts-, bezw. Kräfteplane durch *o* den Strahl *i o* parallel zu *Mm* und nimmt man die Länge diefes Strahles von *o* aus gleich der für *M* berechneten Strecke, fo ift die nothwendige Vereinigung von gleichartigen, auf eine und diefelbe Reductionsbafis *o z* und auf daffelbe Baumaterial zurückgeführten Kräftelinien erreicht. In der Zeichnung ift zur Vermeidung der weit hinauf gehenden Linienftrecke von $30{,}4^m$ ein beftimmter Theil, hier nur die Hälfte $15{,}2^m$ für *i o* aufgetragen, und eben fo ift auch dem gemäfs die Strecke *o d* des Schubes *D* in *h* halbirt, wodurch offenbar die Beftimmung der Lage der Mittelkraft *B* aus *M* und *D* nicht beeinflufft wird. Die Gröfse von *B* ift hierbei gleich dem Zweifachen von *i h*.

Führt man im Plane *I* durch den Schnitt des Strahles *D* mit der feft liegenden Geraden *M* die Parallele *Bb* zu *i h* des Kräfteplanes, fo trifft diefelbe die fefte Fufsebene *m f* ebenfalls noch in einem aufserhalb der Grundfläche des Widerlagers gelegenen Punkte *b*. Hierdurch zeigt fich, dafs der einer Minimal-Drucklinie des Strebebogens *7 o* zukommende Gewölbfchub *D* vom Gewölbfchube *S* des Hauptgewölbes, bezw. von der Kraft *M* noch weit überwunden wird. Der Schub *D* ift noch nicht im Stande, den Gleichgewichtszuftand des gemeinfchaftlichen Widerlagers gegen Drehung hervorzubringen.

Sieht man vorläufig von einem Höherlegen des fonft unverändert zu laffenden Strebebogens an der Widerlagsmauer ab, fo folgt weiter, dafs durch die Einwirkung von *S*, bezw. *M* im Strebebogen ein gröfserer Gewölbfchub herrfchen mufs, wenn derfelbe fähig fein foll, das Drehbeftreben des Widerlagers zu vernichten.

Zum Auffuchen diefes gröfseren Schubes im Strebebogen, und zwar zunächft in Rückficht auf eine Grenzlage, wonach die aus *M* und diefem Schube entftehende Mittelkraft genau durch die äufserfte Kante *c* der Grundfläche des Widerlagers geht, ift in Uebereinftimmung mit den Erörterungen in Art. 147 (S. 213) durch die Seilpolygone *m n a* und *m o f* der auch in dem dort Vorgetragenen erwähnte, bedeutungsvolle fefte Punkt *f* auf der Fufsebene des Widerlagers ermittelt. Zieht man nun durch *f* und durch den Fixpunkt *F* der unverändert gelaffenen Polaraxe *A* des Strebebogens einen Strahl *E*, fo mufs in demfelben ein Gewölbfchub herrfchen, welcher, wenn mit ihm eine Drucklinie im Strebebogen entfteht, die ganz innerhalb der Gewölbfläche deffelben bleibt, in Gemeinfchaft mit *M* eine durch die Kante *c* gehende Refultirende liefert.

Im Plane *II* ift Auffchlufs über den Verlauf einer Mittellinie des Druckes, welche einem in der Richtung *f F* wirkenden Schube *E* von der Gröfse *e o* angehört, gegeben. Die Polaraxe *A* mit dem Fixpunkte *F* ift ohne Weiteres aus dem Plane *I* übertragen. Die auf bekanntem Wege gezeichnete Mittellinie des Druckes verläfft jedoch die Stirnfläche des Strebebogens oberhalb der Rückenlinie zwifchen den Fugen *1* und *2* und unterhalb der Wölblinie in der Nähe der Fuge *5* in merkbarem Abftande. Hieraus folgt, dafs der Gewölbfchub $E = eo$ in der angewiefenen Lage und mit der gefundenen Gröfse nicht fähig ift, eine Drucklinie zu erzeugen, welche ganz innerhalb der Wölbfläche des Strebebogens verläuft. Die eingezeichnete Drucklinie giebt aber einen Anhalt für die Lage der Bruchfugen oberhalb des Stückes *o 2* und in der unteren Kante der Fuge *5*. Berückfichtigt man ferner, dafs unter Beachtung diefer Bruchfugen dennoch im Allgemeinen ein noch möglich kleinfter Gewölbfchub des Strebebogens eintreten kann, welcher, mit der Kraft *M* zufammengefetzt, eine Refultirende giebt, welche durch die Kante *c* der Grundfläche des Widerlagers geht, fo hat man nach dem Plane *III* eine neue Mittellinie des Druckes aufzufuchen, welche durch den höchften Punkt der als Bruchfuge angenommenen Fuge *1*, durch den tiefften Punkt der zweiten Bruchfuge *5* zieht, und welche aufserdem einem Gewölbfchube zukommt, deffen Richtung durch den feften Punkt *f* der Fufsebene *mf* geht.

Beftimmt man auf der durch *5* und durch den höchften Punkt der Fuge *1* gelegten Polaraxe $\mathcal{J}$ nach Art. 146 (S. 208) den Fixpunkt p mittels der Projection π; zieht man im Plane *I*, nachdem auch hier die Lage des Punktes p nach Plan *III* eingetragen und ftark ausgeprägt wurde, durch diefen Punkt und durch f der Fufsebene mf den Strahl K: fo ift alles Nothwendige vorhanden, um die zugehörige Mittellinie des Druckes im Plane *III* zeichnen zu können. Für diefelbe ergiebt fich alsdann noch weiter bei der Einführung der nunmehr gleichfalls näher beftimmten zweiten Polaraxe $\mathcal{J}_1$, welche durch den Angriffspunkt der Kraft K auf der Fuge o und durch den höchften Punkt der Bruchfuge *1* gezogen werden mufs, nebft ihrem Fixpunkte p_1, deffen Projection in π_1 ermittelt wurde, eine reichliche Zahl von Elementen, welche für die richtige Darftellung diefer Drucklinie benutzt werden können. Diefelbe bleibt noch ganz innerhalb der Wölbfläche des Strebebogens. Die Gröfse ihres Gewölbfchubes K wird im Gewichtsplane der Darftellung *III* als Strecke $k o$ erhalten. Ueberträgt man $k o$ in Lage und Gröfse nach dem Gewichtsplane der Hauptdarftellung *I* als $q o$, halbirt man, weil $i o$ die Hälfte der Kraft M angiebt, auch $q o$ in r und zieht man den Strahl $i r$, fo mufs die durch den Schnitt von K mit M zu $i r$ gezogene Parallele C genau durch den Punkt c der Kante der Widerlagsfläche gehen. Hierdurch wird bekundet, dafs der Strebebogen, fobald in ihm eine Mittellinie des Druckes verbleibt, deren Gewölbfchub die Lage K annimmt und deffen Gröfse gleich $k o = q o$ ift, fähig wird, den Grenzzuftand des Gleichgewichtes gegen Drehung um die Kante c der Grundfläche des Widerlagers herbeizuführen.

Soll der Punkt c mehr in das Innere diefer Grundfläche, z. B. bis in den nach c zu gelegenen Kernpunkt des Querfchnittes des Widerlagskörpers, gelegt und alsdann eine Prüfung dahin gehend angeftellt werden, ob eine Mittellinie des Druckes mit noch gröfserem Gewölbfchub für den Strebebogen möglich ift, wobei die aus M und dem neuen Gewölbfchube entftehende Mittelkraft fich durch diefen Kernpunkt legt; fo ift die Durchführung diefer Unterfuchung, unter Ermittelung eines neuen feften Punktes, ftatt des für die Lothrechte $c o$ beftimmten Punktes f in der Ebene mf, ganz in dem Sinne des Vorgetragenen zu bewirken.

Ift in jedem einzelnen Falle die dem Gleichgewichte gegen Drehung entfprechende Mittellinie des Druckes gezeichnet, fo ift bekanntlich auch noch zu prüfen, ob diefelbe den allgemeinen Bedingungen für das Gleichgewicht gegen Gleiten entfpricht.

Namentlich kommt hierbei der Neigungswinkel φ der Kraft K mit der Normalen zur Anfatzfuge o des Strebebogens am Widerlager in Betracht. Da diefer Winkel die Gröfse des Reibungswinkels des anzuwendenden Materials nicht überfchreiten darf, fo mufs, wenn die an fich unveränderliche Lage des Gewölbfchubes K eine Ueberfchreitung der Gröfse diefes Reibungswinkels bekunden follte, die Anfatzfuge o in ihrer Neigung in dem Mafse abgeändert werden, dafs eine Gefahr durch Gleiten nicht mehr vorhanden ift. Für die übrigen Fugen tritt unter Umftänden gleichfalls die Prüfung auf Gleiten und eine Aenderung der Fugenrichtung zwifchen den Wölbfteinen ein.

Die Stärke des Strebebogens ift nach der Beftimmung des Schubes K mittels des leicht nach Plan *III* zu findenden wagrechten Gewölbfchubes H, bezw. des Normaldruckes N für die am ftärkften gepreffte Fuge auf bekanntem Wege zu berechnen.

Eben fo macht die Stabilitäts-Unterfuchung des Strebepfeilers, welcher die Stütze des Strebebogens bildet, bei dem Bekanntfein des Schubes K keine Schwierigkeiten.

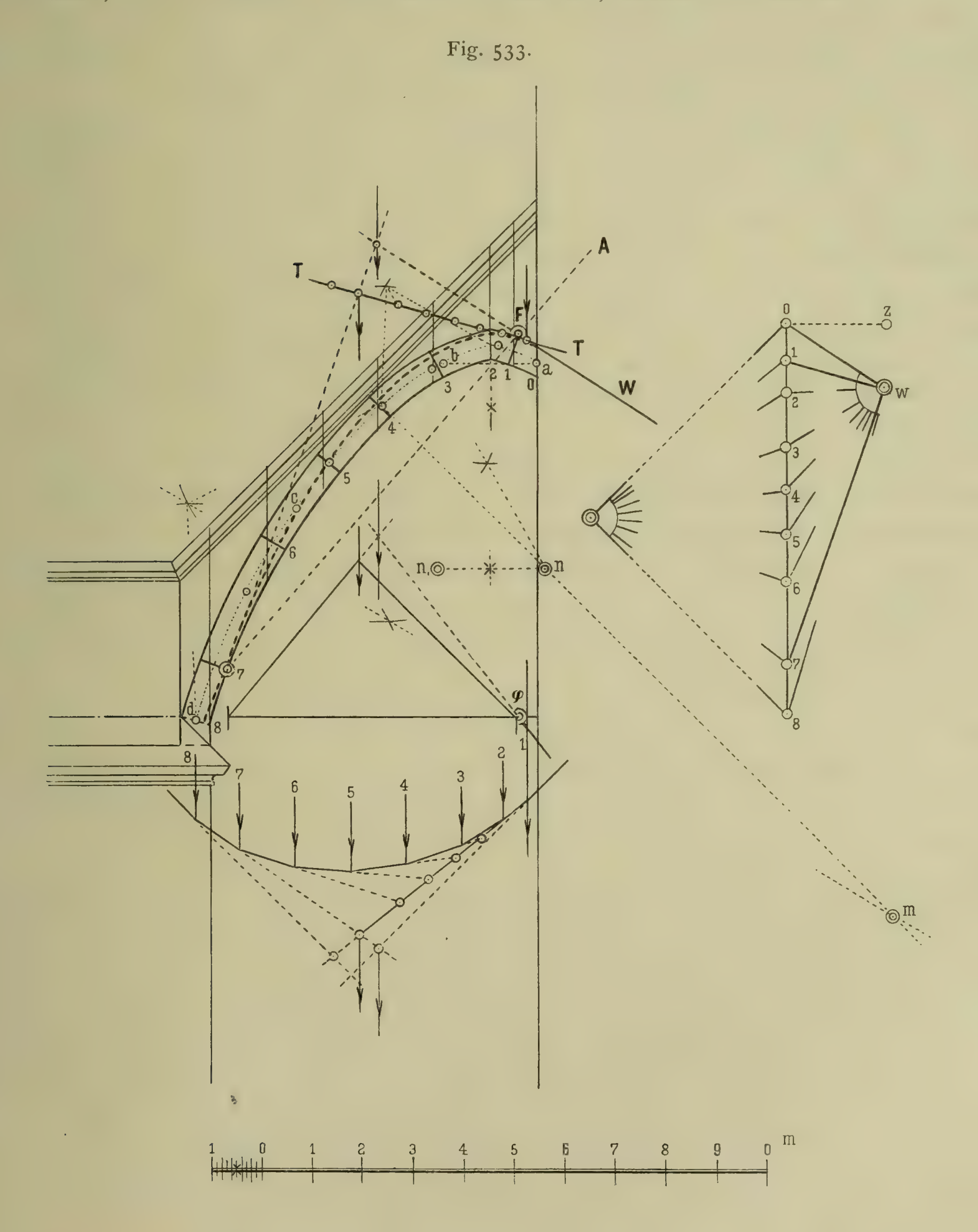
335.
Anfatzhöhe
der
Strebebogen.

Bei der Prüfung der Einwirkungen des Strebebogens auf die Standfähigheit des gemeinfchaftlich von ihm und vom Hauptgewölbe beanfpruchten Widerlagskörpers war die unveränderliche Anfatzhöhe des Strebebogens geltend gelaffen. Man erkennt aber aus der Darftellung *I* auf der Tafel bei S. 482, dafs bei einem lothrechten Verfchieben des Strebebogens $o 7$ an der äufseren lothrechten Seite der Widerlagsmauer, ohne eine Umgeftaltung des Strebebogens zu vollziehen, unter Umftänden auch der Gewölbfchub D, welcher, einer Minimaldrucklinie angehörend, von allen ermittelten Gewölbfchüben des Strebebogens am kleinften ift, fähig fein kann, bei feiner Zufammenfetzung mit der Kraft M eine Refultirende zu liefern, welche durch den Punkt c oder, wenn man will, auch durch einen mehr im Inneren der Grundfläche des Widerlagers gelegenen Punkt geht. Denn würde man z. B. durch den Punkt c einen Strahl parallel zu $B b$, bezw. $i h$ ziehen, fo müffte, im Allgemeinen genommen, diefer Strahl die fefte Linie $M m$ in einem Punkte fchneiden. Legte man durch diefen Schnitt auf der Geraden $M m$ die Parallele zu der Richtung des

Schubes *D*, fo würde diefelbe die neue Lage des Anfatzpunktes *o* des Strebebogens am Widerlager bedingen. Im vorliegenden Plane würde der Strebebogen in feiner Gefammtheit höher gerückt werden. Bleibt nun bei diefer Verfchiebung eine durch die Kräfte *S*, *G* und *D* verurfachte Drucklinie ganz in der Fläche des Widerlagskörpers, bezw. innerhalb des Gebietes der Grenzlinien der Kernflächen feines Querfchnittes, fo ift auch hierdurch die Standfähigkeit des Syftems bekundet. Bei vielen Bauwerken der deutfchen und franzöfifchen Gothik findet man fehr hoch an der Widerlagsmauer angefetzte Strebebogen.

Werden zwei über einander liegende Strebebogen zur Abfteifung eines gemeinfchaftlichen Widerlagers angeordnet, fo läfft fich die zugehörige Stabilitäts-Unterfuchung eines folchen Baufyftems unter Anwendung der gegebenen Grundlagen fchrittweife, ohne befondere Hinderniffe anzutreffen, ebenfalls vollziehen.

Fig. 533.



336. Umgeftaltung der Strebebogen.

Die im Plane *III* auf der Tafel bei S. 482 für den Gewölbfchub *K* conftruirte Mittellinie des Druckes nähert fich einer Parabel, bezw. einer Korbbogenlinie, bei welcher vom höchften Punkte der Bruchfuge *1* aus die beiden feitlichen Aefte etwas fpitzbogenartig abfallen.

Nimmt man nach Fig. 533 diefe Mittellinie des Druckes als Mittellinie *abcd* der Wölbfläche eines Strebebogens an und fucht man, wie leicht gefchehen und aus der Zeichnung näher erfehen werden kann, die Mittelpunkte *m* für den Bogen von *d* durch *c* bis zur Fuge *4* und *n*, bezw. *n,* für die durch *b* und *a* gehenden Bogen, fo läfft fich mit grofser Genauigkeit der Linienzug *abcd* durch einen am Scheitel fpitzbogenförmig zufammentretenden Korbbogen erfetzen. Behält man die im Plane *III* auf der Tafel bei S. 482 für den Strebebogen angenommene Stärke auch in Fig. 533 in der Weife bei, dafs diefelbe je zur Hälfte ftets normal zum Korbbogen *abcd* nach oben und unten abgetragen wird, fo find die aus den bezeichneten Mittelpunkten befchriebenen, die Wölbftärke begrenzenden inneren und oberen Wölblinien der Mittellinie *abcd* des Strebebogens concentrifch.

Läfft man auch die obere Aufmauerung und Abdeckung nicht wefentlich ändern, fo entfteht, abgefehen von einer kleinen Vergröfserung der urfprünglichen Spannweite, ein fpitzbogenförmiger Strebebogen mit den Schenkeln *o 2* und *2 8*, deffen Mittellinie eine mögliche Mittellinie des Druckes ift. Derartige Bogen befitzen, wie fchon in Art. 127 (S. 153) ausgefprochen ift, einen hohen Grad von Stabilität. Will man für diefen umgeformten Strebebogen eine Mittellinie des Druckes zeichnen, welche einem möglich kleinften Gewölbfchube $W = wo$ angehört, fo find unter Befolgung der Angaben in Art. 146 (S. 208) die erforderlichen, auch aus Fig. 533 zu erfehenden Mafsnahmen zu treffen. Die entftehende Drucklinie ift ftark punktirt eingetragen.

Bemerkt fei, dafs Strebebogen mit einem gröfseren und einem verhältnifsmäfsig kurzen Schenkel als Spitzbogen mit einer der hier gefundenen fehr ähnlichen Form bei Bauwerken des Mittelalters angetroffen werden.

337. Winddruck bei Strebebogen.

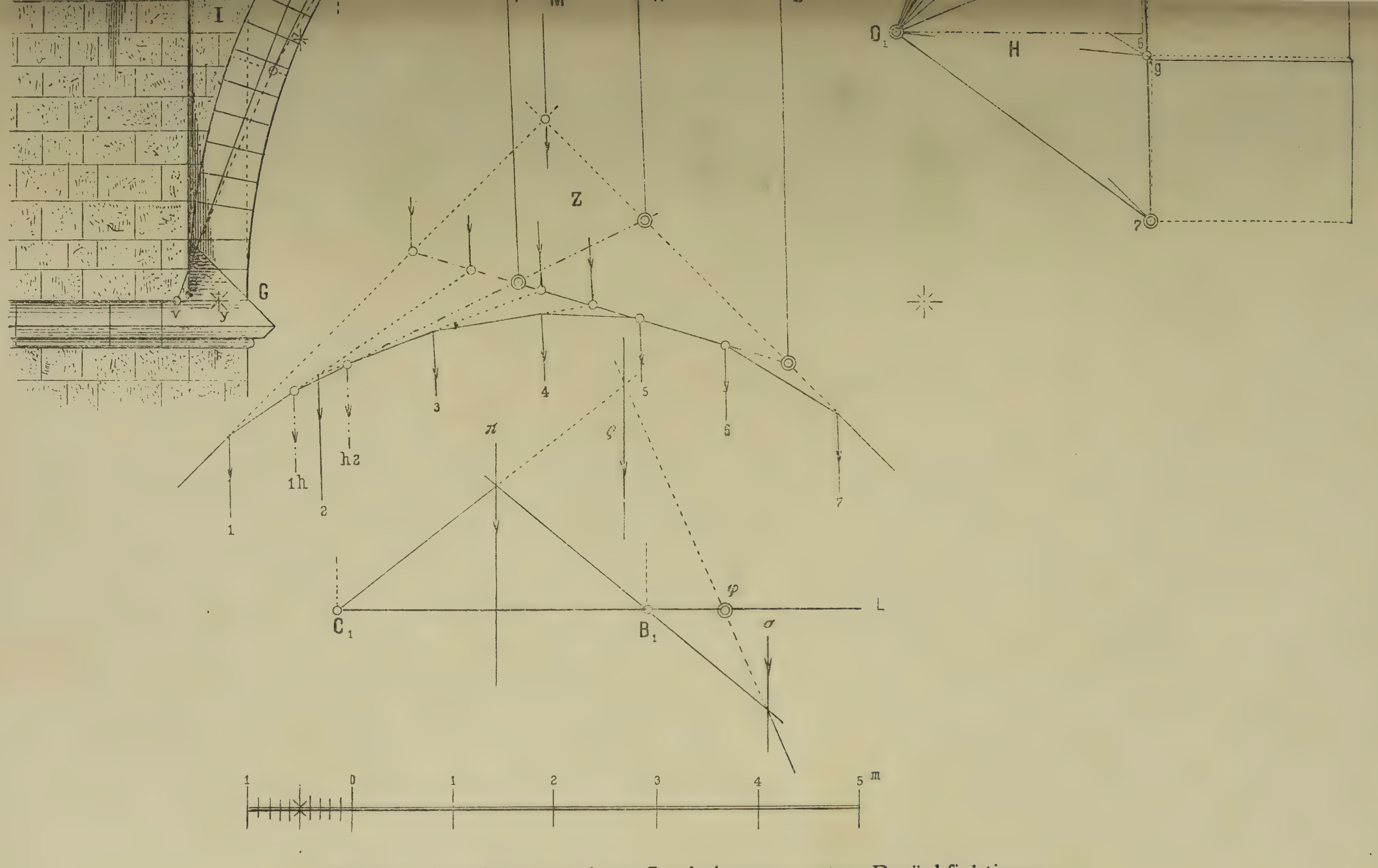
In Art. 146 (S. 208) ift fchon die Bemerkung gemacht, dafs bei den meiftens als einhüftige Gewölbftücke ausgeführten Strebebogen der Kreuzgewölbe noch der Winddruck, welcher die Rückenfläche diefer Bogen trifft, bei ihrer Stabilitäts-Unterfuchung in Frage kommen kann.

Die Löfung der Aufgabe, die Prüfung der Stabilität eines Strebebogens mit Hilfe der graphifchen Statik vorzunehmen, fobald aufser feinem Eigengewichte noch die Einwirkung eines gröfseren Winddruckes in Bezug auf feine Rückenfläche zu berückfichtigen ift, foll nach neben ftehender Tafel in ihren Hauptpunkten gezeigt werden.

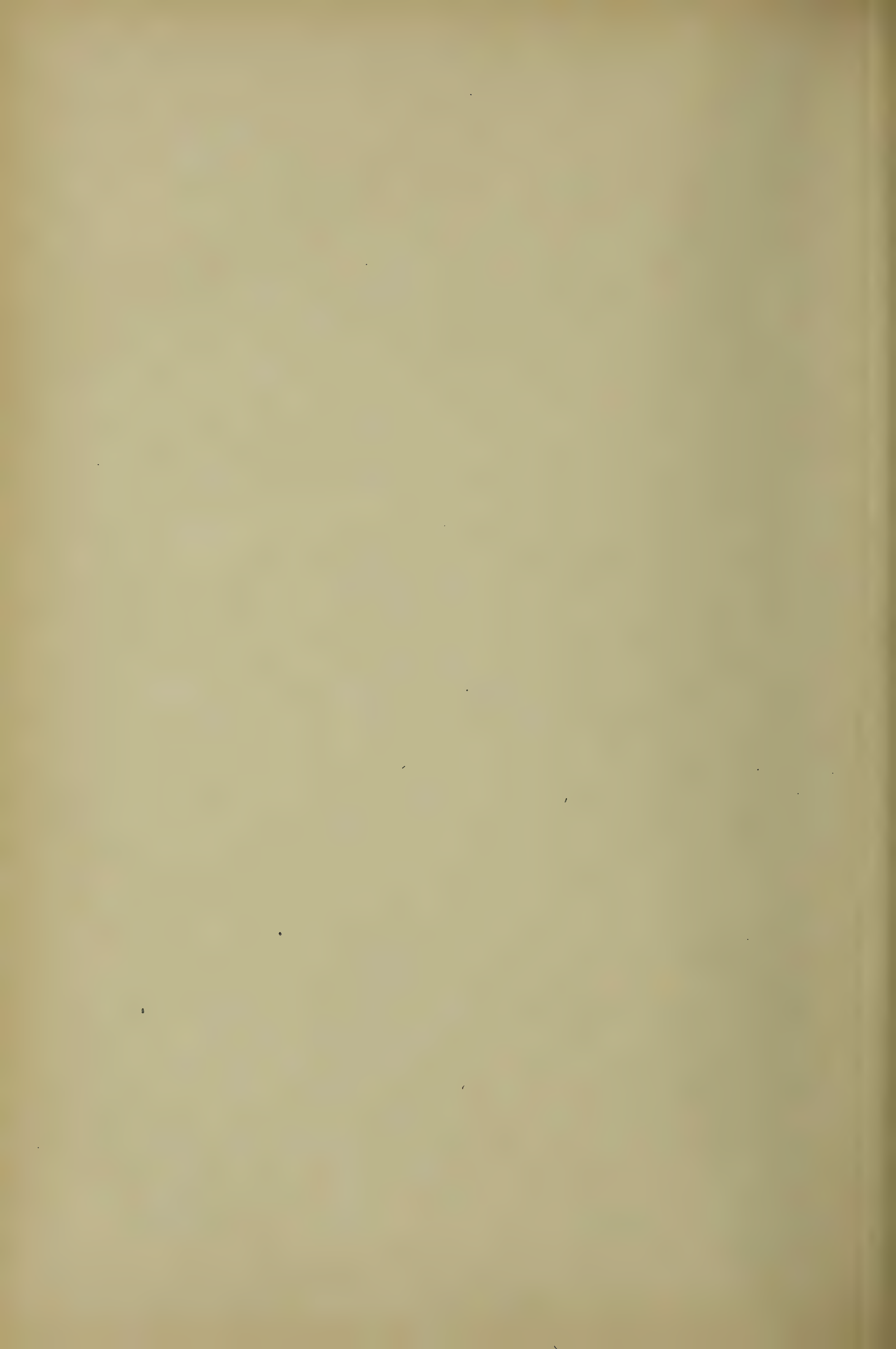
Zunächft ift das Gewölbe des übermauerten und mit Platten abgedeckten Strebebogens *GA*, deffen Tiefe gleich 1 m fein möge, unter Annahme gleichen Materials nach bekannten Gefichtspunkten in fchmale Theilftreifen, hier *7*, zerlegt. Die einzelnen lothrechten Theillinien beftimmen auf der Rückenfläche der Abdeckung des Bogens die Gröfse der für jeden Theilftreifen in Rechnung zu ftellenden, vom Winddruck beanfpruchten Fläche. Für den Streifen *I* würde eine Länge *ln*, für den daneben liegenden Streifen *II* eine Länge *nt* u. f. f. diefer Fläche entftehen. Projicirt man diefe Längen, wie bei *D* und *E* gefchehen, auf eine zur Windrichtung *W* fenkrecht ftehende Ebene *E*, fo erhält man bei der gegebenen Breite der gedrückten Fläche ihre für die Berechnung des Winddruckes *W* in Bezug auf die Ebene *E* zu benutzende Höhe *lm* u. f. f. Ift allgemein *b* Met. die Breite, *h* Met. die Höhe diefer Fläche und *p* Kilogr. der in der Ebene *E* herrfchende Winddruck für eine Flächeneinheit, fo ift $W = b\,h\,p$ Kilogr. In der Zeichnung ift $lm = h = 0{,}9$ m. Die Breite *b* der gedrückten Fläche beträgt der Annahme nach 1 m. In Rückficht auf die Gewalt, welche bei ftarken Stürmen an hoch gelegenen Mauerwerkskörpern, wozu



Zu S. 486.



Statifche Unterfuchung eines Strebebogens unter Berückfichtigung des Winddruckes.



die Strebebogen meiftens zu zählen find, ausgeübt wird, möge $p = 300$ kg für 1 qm gerechnet werden. Hiernach wird $W = 1 \cdot 0{,}9 \cdot 300 = 270$ kg. Für den Strebebogen kommt die fenkrecht zu feiner Rückenebene *D* wirkende Seitenkraft *ia* in Frage[186]). Diefelbe ergiebt fich zu 216 kg.

In gleicher Weife find die lothrechten Drücke *b*, *c*, *d* u. f. f. des Windes für die übrigen Theilftreifen beftimmt. Diefe Drücke fetzen fich mit den Gewichten ihrer zugehörigen Theilftreifen zu einzelnen Mittelkräften zufammen. Im Kräfteplane *K* find diefelben unter Anwendung einer Bafis $az = 2$ m als *o 1*, *1 2* u. f. f. bis *7* zu einem Kräftepolygonzuge vereinigt.

Hierbei ift jedoch die Länge der Kräfteftrecken für den Winddruck, welcher in Kilogramm ausgedrückt ift, durch die Abmeffung *x* Met. Höhe eines Steinprismas darzuftellen, welches daffelbe Einheitsgewicht, als das Material des Strebebogens befitzt, deffen rechteckiger Querfchnitt eine Breite von ftets gleich 1 m, fonft aber eine Länge gleich der gewählten Mafszahl 2 m der Bafis *az* des Gewichtsplans *K* erhält.

Wiegt 1 cbm des Wölbmaterials 2400 kg, fo ift hiernach die Strecke *oa* des Planes *K*, welche die Gröfse des fenkrecht auf der Rückenfläche des Theilftreifens vorhandenen Winddruckes gleich 216 kg angeben mufs, mittels des Ausdruckes

$$x \cdot 1 \cdot 2 \cdot 2400 = 216$$

als $oa = x = 0{,}045$ m. Die Linie *oa*, parallel zu *ia* gezogen, hat diefe Länge erhalten. Mit derfelben wurde das Gewicht *a 1* des erften Theilftreifens *I*, deffen Breite als *at*, deffen mittlere Höhe als $xy = zu$ gegeben ift, nach bekannter Reduction auf die Bafis *az*, zu der Refultirenden *o 1* zufammengefetzt. In ganz gleicher Weife find alle übrigen Theilftreifen behandelt.

Im Plane des Strebebogens find die für die einzelnen Theilftreifen aus Winddruck und Gewicht entftehenden Mittelkräfte als *1* parallel *o 1*, *2* parallel *1 2* u. f. f. ihrer richtigen Lage nach gezeichnet; und es ift für diefelben unter Benutzung des Poles *O* das Seilpolygon *Z* feft gelegt. Nach einer vorläufigen Prüfung über den Verlauf einer Mittellinie des Druckes, welche unter der Einwirkung der ermittelten, im Allgemeinen in nicht paralleler Lage auftretenden Kräfte für den möglich kleinften Gewölbfchub des Strebebogens entfteht, find in *A*, *B* und *C* Punkte von Bruchfugen erhalten. Diefe können für die weitere Durchführung der graphifch-ftatifchen Unterfuchung zunächft benutzt werden.

Bei der Anwendung der fog. Fixpunkt-Methode find entweder durch *B* und *C* oder durch *B* und *A* Polaraxen zu führen. Hier ift durch die Punkte *B* und *C* eine Polaraxe *J* gelegt. Für das Stück *AB* des Strebebogens ergiebt fich mit Hilfe des Seilpolygons *Z* eine refultirende Kraft *S* gleich und parallel der Verbindungsgeraden *5* bis *7* im Kräfteplane *K*. Für das Stück *CB* ift *P* die Refultirende, parallel und gleich der Verbindungsgeraden *h* bis *5* im Plane *K*. Die Mittelkraft *R* aus *P* und *S* ift parallel und gleich einer Geraden mit den Endpunkten *h* und *7* des Gewichtsplans *K*. Um für die nicht einander parallelen Kräfte *P* und *S* mit ihrer Mittelkraft *R* ein Seilpolygon durch die gegebenen Punkte *A*, *B* und *C* zu legen, kann man zur Beftimmung des Fixpunktes *F* auf der Polaraxe *J* das folgende Verfahren einfchlagen.

Man bringt die Strahlen *P*, *R* und *S* mit der Polaraxe *J* in *p*, *r* und *q* zum Schnitt. Zerlegt man die Kräfte *P*, *R*, *S* in diefen Punkten einzeln in Seitenkräfte, in die Gerade *CJ* fallend und fonft parallel zu einer beliebig gewählten Axe CC_1 genommen, fo mögen die Geraden π, ρ und σ, nunmehr einander parallel, die zuletzt genannten Seitenkräfte enthalten. Projicirt man die Punkte *B* gleichfalls parallel zu CC_1 auf eine beliebig von C_1 ausgehende, jedoch die Strahlen π, ρ und σ fchneidende Axe *L*, fo läfft fich ganz auf dem in Art. 146 (S. 208) angegebenen Wege die Projection φ des gefuchten Fixpunktes *F* auf der Axe *L* ermitteln.

Projicirt man φ parallel zu CC_1 nach *F* auf *J*, fo ift nunmehr wiederum ganz im Sinne von Art. 146 (S. 208) die Mittellinie des Druckes für den Strebebogen *GA* zu beftimmen.

Hätte man das Auffinden des Fixpunktes *F* unter Benutzung der Axen $C\gamma$ und $\gamma\lambda$ bewirken wollen, fo find die Seitenkräfte von *P*, *R* und *S*, welche nicht in die Polaraxe *CJ* fallen, von *p*, *r* und *q* aus parallel $C\gamma$ als π_1, ρ_1 und σ_1 feft zu legen und *B* parallel $C\gamma$ auf λ nach β zu projiciren, um alsdann in üblicher Weife auch den Punkt φ_1 auf λ als Projection von *F* zu erhalten.

Wird ftatt der durch *B* und *C* gelegten Polaraxe *J* eine durch *A* und *B* geführte Gerade als Polaraxe angenommen, fo ift das Auffinden des auf diefer Axe gelegenen Fixpunktes ganz nach den für die Polaraxe *J* gegebenen Grundlagen vorzunehmen.

Der aufgefundenen Mittellinie des Druckes gehört im Punkte *B* der Gewölbfchub $O_1 5$, bezw. $5\,O_1$ an. Für die Berechnung der Stärke des Strebebogens ift die wagrechte Seitenkraft *H* von $O_1 5$, bezw.

---

186) Siehe: Theil I, Band 1, zweite Hälfte, 2. Aufl. (Art. 27, S. 21) diefes »Handbuches«.

der leicht zu ermittelnde Normaldruck für die am ftärkften gepreffte Wölbfuge in bekannter Weife zu verwerthen.

Die punktirt eingetragene Mittellinie des Druckes *A B C* u. f. f. durchfchneidet die Rückenlinie des Strebebogens in der Nähe und in geringer Höhe über der Widerlagsfuge *G*. Ihr Endpunkt *v* liegt bereits im Körper des für den Strebebogen erforderlichen Strebepfeilers. Will man diefe Lage von *v* nicht als gerade günftig anfehen, fo kann man fachgemäfs die Stärke des Strebebogens nach dem Widerlager zu etwas über *v'* hinaus vergröfsern.

338.
Gewölbepfeiler.

Die Gewölbepfeiler, Mittel- oder Zwifchenpfeiler, bilden die Stützen für an einander gereihte Gewölbeanlagen. Sie haben den Gewölbfchub von den in gröfserer Zahl am Pfeiler zufammentretenden oder fich anfchmiegenden Rippenkörpern aufzunehmen. Heben fich die wagrechten Seitenkräfte der fämmtlichen Gewölbfchübe auf, vereinigen fich alle lothrechten Seitenkräfte derfelben zu einer Mittelkraft, welche mit der lothrechten Axe des zugehörigen Pfeilers ganz oder nahezu zufammenfällt, fo hat der Querfchnitt des Pfeilers nur eine folche Gröfse nöthig, dafs unter Berückfichtigung feines eigenen Gewichtes der Pfeiler nicht zerdrückt, bezw. nicht zerknickt wird. Diefe durch die gefammte Gewölbeanlage bedingte günftigfte Beanfpruchung der Pfeiler tritt aber in Folge der in mannigfaltigem Wechfel ftattfindenden Gewölbedurchbildung im Ganzen felten ein. Die Gewölbfchübe der Gurt-, Scheide-, Kreuz-, Zwifchenrippen u. f. f. wirken meiftens in fich kreuzenden geraden Linien, liefern alfo, wie fchon in Art. 293 (S. 427) erwähnt ift, ein im Raume gelegenes Kräftefyftem, welches im Wefentlichen nur zu einer Mittelkraft und zu einem refultirenden Kräftepaar vereinigt werden kann. In folchen Fällen hat, in ftatifcher Beziehung genommen, der Pfeiler, oft am zweckmäfsigften und einfachften unter Einführung befonderer Uebermauerung der Rippen- oder Kappenkörper, bezw. einer ihn felbft treffenden Aufmauerung, ohne einen übertrieben grofsen Querfchnitt zu erhalten, eine Geftaltung zu erfahren, welche eine Vernichtung des erwähnten Kräftepaares herbeiführt und welche zuläfft, dafs die nun verbleibende Mittelkraft der Gewölbfchübe, mit dem Eigengewichte des Pfeilers vereint, einen günftigen Verlauf der Drucklinie im Pfeilerkörper hervorruft. Die hier erwähnte Uebermauerung wird als vorzügliches Hilfsmittel meiftens Platz greifen müffen, fo bald durch die Ausmittelung der Gewölbfchübe eine ungünftige Beanfpruchung der Gewölbepfeiler erkannt wird, da das Umformen der Gewölberippen nach höher oder geringer auffteigenden Bogenlinien, wodurch gleichfalls günftige Wirkungen für die Pfeiler erzielt werden können, aus Rückficht auf die architektonifche Durchbildung der Gewölbanlage in der Regel auszufchliefsen ift.

Eine forgfältig durchgeführte ftatifche Unterfuchung der Gewölbekappen und des Rippenfyftems lehrt die Kräfte kennen, welche den Gewölbepfeiler treffen. Ihre Vereinigung zu einer gemeinfchaftlichen Mittelkraft allein oder zu einer Mittelkraft nebft einem refultirenden Kräftepaare läfft fich nach den Lehren der Statik unmittelbar bei der Stabilitäts-Unterfuchung der Pfeiler in den Vordergrund bringen. Durch ihre Verbindung mit den Gewichten der nach Lage und Gröfse geeignet gefchaffenen Uebermauerungen der Gewölbe, namentlich der trichterartigen Gewölbezwickel über den Pfeilern oder einzelner Rippen in der Nähe ihrer Anfätze am Pfeiler, läfft fich bei einiger Ueberlegung von Fall zu Fall eine auf elementarem, wenn auch etwas langem Wege zu verfolgende Prüfung der Stabilität diefer Gewölbepfeiler vornehmen.

9) Ausführung der gothifchen Kreuzgewölbe.

339. Gewölbe-kappen.

Für die praktifche Ausführung der gothifchen Kreuzgewölbe, fowohl der einfachen, als auch der Stern- oder Netzgewölbe ift unter 7 (S. 435) fchon eine gröfsere Zahl von wichtigen Anhaltspunkten gegeben, welche namentlich für die zwifchen felbftändigen Rippen zu wölbenden Kappen zu beachten find.

340. Zellengewölbe.

Eine befondere Ausführung der Kappen macht fich dagegen bei einer Gruppe von Kreuz-, befonders Netzgewölben ohne felbftändig hergerichtete Rippenkörper geltend, welche den Namen »Zellengewölbe« führen. Die Laibungsflächen diefer Gewölbe gehören geraden Kegelflächen an, deren Bafis-, bezw. Leitlinien die Rippenlinien enthalten. Die Kegelflächen durchfchneiden fich in den von den einzelnen Grat- oder Rippenkanten begrenzten Kappengebieten nach einer befonderen Firft- oder Zellenkante, welche in Gemeinfchaft mit den beiden von den Rippenlinien fattelförmig auffteigenden Wölbflächen die Geftaltung von falten- oder zellenartigen Gewölbekappen bedingt. Hierbei find für jede Rippenlinie zwei gerade Kegelflächen vorhanden, welche in diefer Linie eine gemeinfame Leitlinie befitzen. Die Spitzen diefer Kegel liegen auf den in einer einzigen Geraden zufammenfallenden Kegelaxen fymmetrifch zur Ebene der Rippenlinie, und zwar rechts und links in einem dem Halbmeffer der Bafislinie gleichen Abftande.

Dafs ein Verhauen der als Wölbfteine benutzten Backfteine bei den fog. rippenlofen Gewölben thunlichft zu vermeiden ift, läfft fich bei den vorzugsweife in den Oftfeeländern während des Mittelalters ausgeführten Zellengewölben, deren Kappen felbft bei einer reichen Durchbildung[187]) im Allgemeinen nach geraden Kegelflächen angeordnet find, erkennen. Da die Stellung der fchmalen Wölbfchichten in jedem einer einzelnen Rippenlinie angehörenden Kappengebiete in den Lagerflächen nach Normalebenen zur gemeinfchaftlichen Bafislinie (Rippenlinie) der beiden erwähnten Kegelflächen äufserft einfach erfolgen kann, da aufserdem die Lagerkanten alsdann Seitenlinien diefer Kegel bleiben; fo fchliefsen die für fich zufammentretenden Lagerkanten vermöge der vorhin bezeichneten fymmetrifchen Anordnung der Kegelfpitzen an jeder Stelle eines Normalfchnittes am Rippenbogen einen rechten Winkel ein. Ein befonderes Zufchärfen oder ein umftändliches Verhauen der Backfteine ift alfo im Gegenfatz zu der Einwölbung auf Schwalbenfchwanz-Verband nicht erforderlich.

Da die Anwendung der Zellengewölbe bei Deckenbildungen der Neuzeit nicht auszufchliefsen ift, fo foll für die Geftaltung und Einwölbung diefer intereffanten Gewölbe in Fig. 534 das Nähere angegeben werden. Der im Grundrifs quadratifch genommene Raum *abcd* ift durch die ftark ausgezogenen Rippenlinien *ae*, *ah* u. f. f. nebft den Scheitellinien *eg*, *hf* zunächft im Sinne von Art. 286 (S. 416) mit einer einfachen Netzgewölbbildung verfehen.

Die fämmtlichen Rippenlinien *ae*, *ah* u. f. f. find beliebige Kreisbogen B mit gleichem Halbmeffer βa. Die Randbogen *ab*, *bc* u. f. f. find Spitzbogen mit Schenkeln A, deren Halbmeffer αb gleichfalls beliebig angenommen ift.

Die Mittelpunkte α, β diefer Bogen liegen hier in der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes. Für das Kappengebiet *bfq* treten zwei gerade Kegelflächen mit der Leitlinie A für *bq* und der Leitlinie D für *bz* mit dem Halbmeffer δb gleich βa des Bogens B zufammen. Die Spitze des Kegels für *bq* ift S im Lothe αS auf *bc*, wobei $\alpha S = \alpha b$, während die Spitze des Kegels für *bf* der Punkt S_1 des Lothes δS_1 auf $b\delta$ ift. Auch hierbei mufs $\delta S_1 = \delta b$ genommen werden.

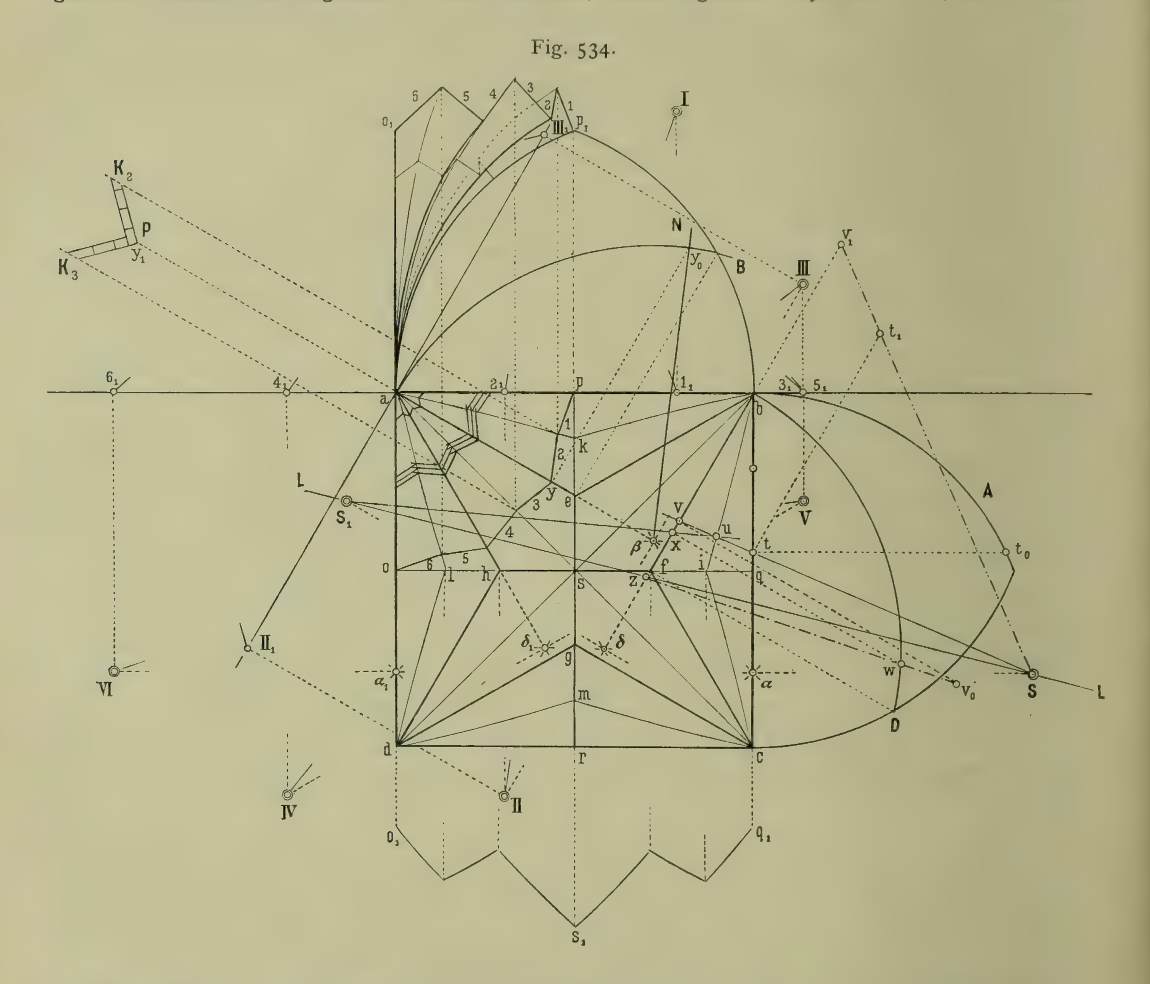
---

187) Siehe auch: BISANZ. Studie über ein Zellengewölbe. Allg. Bauz. 1888, S. 30.

Beide Kegelflächen, deren Leitlinien A und D hier verfchiedene Halbmeffer befitzen, durchfchneiden fich nach einer in der wagrechten Projection dargeftellten Linie bi, welche die Grundrifs-Projection der Zellenkante der Kappe bfq liefert. Die Linie bi ift im vorliegenden Falle noch in einzelnen Zwifchenpunkten, wie z. B. in u, näher zu beftimmen. Verbindet man die Spitzen S und S_1 der beiden für A und D in Betracht kommenden Kegelflächen durch eine Gerade LL, fo kann diefelbe als Drehungsaxe einer Ebene angefehen werden.

Von den unendlich vielen Lagen, welche die um LL gedrehte Ebene annehmen kann, fchneiden mehrere der Reihe nach die beiden Kegelflächen nach Seitenlinien. Diefe ergeben für die zugehörige Ebene in ihrem Schnitte je einen Punkt der Durchdringungslinie der Kegelflächen. So ruft eine um LL gedrehte Ebene auf der Kegelfläche A eine Seitenlinie, deren wagrechte Projection Sv ift, hervor. Der

Fig. 534.



Durchftofspunkt $v_{,,}$ diefer Seitenlinie mit der lothrechten Ebene der Leitlinie D oder des Rippenbogens bf liegt um $v\,v_0 = v\,v_{,}$, wie ohne Weiteres mit Hilfe des verlängerten Strahles St_1, für welchen $tt = tt_0$ ift, gefunden wird, über der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes. Die durch LL und Sv gehende Ebene fchneidet die Ebene des Bogens D in der Geraden zv_0, welche wiederum den Bogen D im Punkte w trifft. Die wagrechte Projection des Punktes w ift der Punkt x auf bf. Durch x und S_1 mufs die Seitenlinie $S_1\,x$ gehen, welche durch die bezeichnete Ebene LSv auf der Kegelfläche für die Leitlinie D entfteht.

Der Schnitt u der genügend verlängerten Seitenlinie $S_1\,x$ mit der Seitenlinie Sv ift die wagrechte Projection eines Punktes der Zellenkante bi. In gleicher Weife können beliebig viele Punkte der Grundrifs-Projection diefer Zellenkante beftimmt werden.

Den Kappengebieten innerhalb des regelmäfsig geftalteten Netzes $aebfcgdh$ gehören gerade Kegelflächen mit vollftändig gleichen Leitlinien (Rippenlinien) an. Die wagrechten Projectionen der aus

dem Durchfchneiden der einzelnen Kegelflächen entftehenden Zellenkanten werden gerade Linien *as*, *bs*, *cs* und *ds*, welche im vorliegenden Falle als Halbirungslinien der Winkel *eah*, *ebf* u. f. f. mit den Diagonalen des Grundriffes zufammenfallen.

Sind die fämmtlichen Grundrifs-Projectionen der Zellenkanten eingetragen, fo laffen fich die Lagerkanten der Wölbfchichten der einzelnen Kappen mit Hilfe der wagrechten Projectionen der Spitzen der Kegelflächen, welche für die Gewölbekappen mafsgebend geworden find, im Grundrifs feft legen.

So ift zur Erfüllung der Vorfchrift, wonach die Lagerflächen der Wölbfchichten eines Kappengebietes, welches für eine einzelne Rippenlinie in Betracht kommt, ftets Normalebenen zu diefer Rippenlinie angehören follen, für einen Punkt y_0 einer Wölbfchicht am Rippenbogen B eine Normalebene mit der Aufrifsfpur βN und der wagrechten Spur $II \beta III$ beftimmt.

Letztere bleibt für alle Normalebenen des Bogens B unverändert.

Den zufammengefügten Kappenftücken *ake* und *ase* entfpricht diefelbe Leitlinie B, befchrieben mit dem Halbmeffer βa. Für das Stück *ake* ift die Spitze des zugehörigen geraden Kegels der Punkt II, welcher auf der wagrechten Spur $II \beta III$ der Normalebene βN im Abftande βII gleich dem Halbmeffer βa des Bogens B liegt. Die Gerade βII ift die Kegelaxe. Eben fo ift $\beta III = \beta II = \beta a$ die Kegelaxe für das Kappenftück *ase* und III die Spitze der zugehörigen Kegelfläche. Die Grundrifs-Projection des Punktes y_0 ift y. Zieht man durch y von II aus den Strahl yz im Kappenftücke *ake* und eben fo von III aus den Strahl $y3$ im Kappenftücke *ase*, fo find in den Linien *2* und *3* die wagrechten Projectionen der Lagerkanten einer Wölbfchicht der Normalebene $y_0 N$ gefunden. Ift nun der Bogen B mit den Theilpunkten der einzelnen Wölbfchichten nach den Backfteindicken verfehen, fo kann, unter Verfolgung des für den Punkt y_0 angegebenen Weges, die gefammte Schar der Lagerkanten der Wölbfteine des Kappengebietes *akesa* gezeichnet werden.

Die wirkliche Geftalt des Normalfchnittes βN ift im Plane P dargeftellt. In demfelben ift $a y_1 = \beta y_0 = \beta a$. Die Lagerkante $y_1 K_2$ geht erweitert durch den Punkt II_1, während die Lagerkante $y_1 K_3$ nach III_1 gerichtet ift. Da $a y_1 = a II_1 = a III_1$ ift, fo fteigen die Kanten $y_1 K_2$ und $y_1 K_3$ unter 45 Grad zur lothrechten Ebene $a y_1$ des Rippenbogens B an, bilden alfo in y_1 einen rechten Winkel $K_2 y_1 K_3$.

Um den Zug der Lagerkanten *2* und *3* für die übrigen angrenzenden Kappengebiete *akp*, *ash*, *ahl* und *alo* im Grundrifs fortfetzen zu können, hat man nach den gegebenen Entwickelungen nur nöthig, die Axen und Spitzen der entfprechenden Kegelflächen in der Grundrifs-Projection zu beftimmen.

So erhält man für das Stück *akp* die Gerade $1, I = 1, a = b \alpha$ als Kegelaxe und I als Kegelfpitze. Zieht man vom Schnitte der Kante *2* mit der Zellenkante *ak* aus den Strahl *1* nach I, fo ift die wagrechte Projection der Lagerkante *1* im Gebiete *akp* im Zufammenhange mit dem Zuge *2*,*3* erhalten. Für die Lagerkante *4* ift IV, für *5* ift V und für *6* ift VI, wie aus der Zeichnung fofort entnommen werden kann, grundlegend zu machen.

Die Aufrifs-Projection *p, 1 2 3 4 5 6 o,* des bezeichneten Zuges der zufammengehörigen Lagerkanten ergiebt fich unter Benutzung der Aufrifs-Projectionen der einzelnen Kegelfpitzen *1,*, *2,* u. f. f. bis *6,* nach Mafsgabe der Zeichnung, welche alsdann auch die eigenthümliche, aber fehr einfache Zellenbildung des Gewölbes noch näher erkennen läfft.

Da alle in Anwendung kommenden Kegelflächen vollftändig beftimmt find, fo können auch die Austragungen der in der lothrechten Ebene *oq* enthaltenen Kegelfchnitte im Zuge *o, s, q,* und fomit die wirklichen Bildungen der Zellenkanten über *oh*, *hf* und *fq* leicht vorgenommen werden.

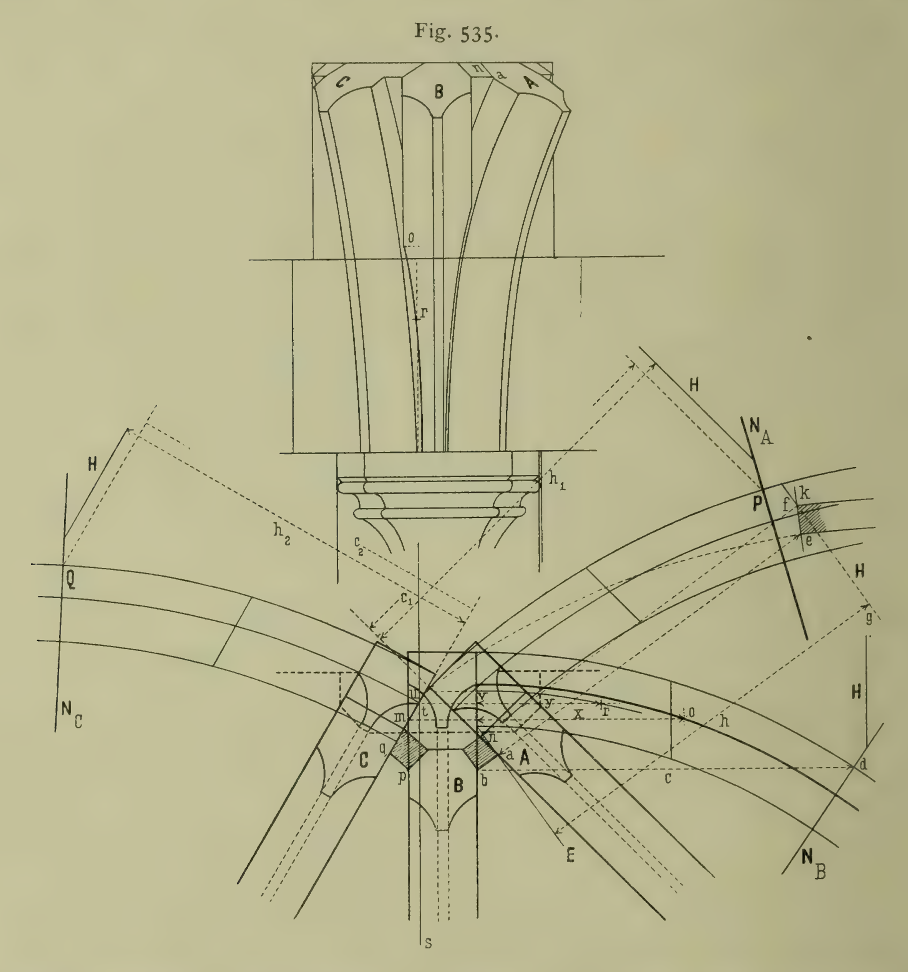
Die gegebenen Regeln für die Geftaltung der Zellengewölbe über quadratifchem Grundrifs finden auch Anwendung bei rechteckigen, fonftigen regelmäfsigen und bei unregelmäfsigen Grundriffen.

Für die Ausführung diefer Gewölbe find vorzugsweife Backfteinmaterial und gut bindender Mörtel zu benutzen. Lehrbogen find nur für die Rippen-, bezw. Randbogen nöthig. Die Kappen werden freihändig gemauert und hierbei ergeben fich die Zellenbauten ohne Weiteres. Ueber den Zellenkanten läfft man die einzelnen Schichten, fo lange fie noch unter einem Winkel zufammenftofsen, welcher ihr Ineinandergreifen geftattet, nach Art des Schwalbenfchwanz-Verbandes vermauern, während bei einem faft nach gerader Linie erfolgenden Zufammentreten der Schichten nur ein einfaches Zufammenftofsen der Steine vorgenommen wird.

Die Gewölbeanſätze an den Ecken des Raumes werden am zweckmäſsigſten als Quaderanfänger, etwa mit einer Höhe von 1,0 bis 1,5 m über der Kämpferebene aufhörend, angefertigt. Die Stärke der Zellengewölbe beträgt meiſtens nur ½ Backſtein. Zur Vermeidung ſehr weit geſpannter Zellenkappen, welche, abgeſehen von der Einführung einer gröſseren Stärke, ein zu bedeutendes Divergiren der Lagerkanten veranlaſſen, iſt das Syſtem der Rippenlinien ſo anzuordnen, daſs ſich verhältniſsmäſsig kleine Zellengebiete geltend machen.

Als Wölbmaterial für die Kappen dienen von den künſtlichen Bauſteinen hauptſächlich gute Backſteine, voll oder durchlocht, ferner ſog. poröſe Backſteine

Fig. 535.



von nicht zu geringer Feſtigkeit und auſserdem die ſehr geſchätzten, meiſtens 25 cm langen, 12 cm breiten und 10 cm dicken, bei Andernach am Rhein angefertigten ſog. Schwemmſteine.

Von den natürlichen Baumaterialien gelangen leichtere Sand- und Kalkſteine, kryſtalliniſche Schiefergeſteine und die Tuffe, ſobald damit ein freihändiges Wölben möglich iſt und ihre Anſchaffung billiger wird, als die der Backſteine, zur Verwendung.

Als Bindemittel dient guter Kalkmörtel oder ein ſorgfältig zubereiteter, verlängerter Cementmörtel.

341. Rippen.

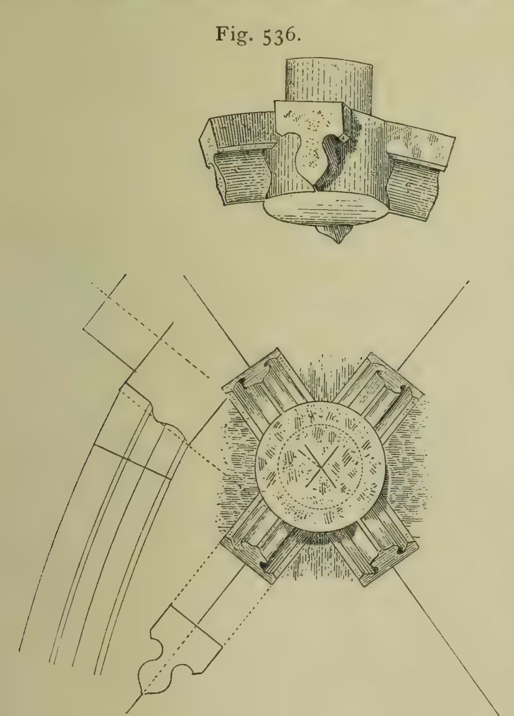
Für die Rippen find ftets, mögen diefelben aus Backfteinen oder aus Werkftücken ausgeführt werden, Lehrbogen zur Unterftützung aufzuftellen. Letztere find möglichft einfach, jedoch in fich kräftig und tragfähig nach den im Allgemeinen auch hier geltenden Leitfätzen in Art. 152 (S. 220) herzurichten und fachgemäfs zu unterlagern. Ift für ein ausgedehnteres Rippenfyftem eine Vereinigung mehrerer Lehrbogen erforderlich, welche das Aufftellen eines Mönches oder Mäklers bedingen, fo ift das in Art. 265 (S. 385) in Bezug auf die Lehrbogen der Grate cylindrifcher Kreuzgewölbe Gefagte zu beachten.

Die Einrüftung und Ausführung der Rippen mufs ftets für eine gröfsere Zahl, mindeftens drei, der benachbarten Gewölbefelder vorgenommen werden; auch ift forgfältig durch Anbringen von Abfteifungen ein Verfchieben der Rippen, bezw. der Gewölbetheile, fobald das Einwölben der Kappen beginnt, in den noch nicht mit Wölbung zu fchliefsenden Feldern zu verhüten. Werden die Rippen aus Werkftücken angefertigt, fo erhalten diefelben eine Länge von 0,5 m bis etwa 1,0 m. Die Anfänger zufammentretender Werkfteinrippen find zweckmäfsig aus einem gröfseren Quader herzuftellen, an welchem in geeigneter Weife die Rippen- und auch die Kappenanfätze angearbeitet werden. In Fig. 535 ift ein folcher Anfänger für eine Querrippe *B* und zwei Kreuzrippen *A* und *C*, welche von der Umfangsmauer eines Gewölbes ausgehen, in zwei über einander liegenden Schichten gegeben.

Die untere Schicht ift durch wagrechte Lagerflächen begrenzt, während die zweite Schicht in der oberen Abgrenzung eine wagrechte Lagerfläche *H* im Abftande $h = h_1 = h_2$ über der Kämpferebene und die für die einzelnen Rippen nach Normalebenen N_A, N_B, N_C beftimmten Anfatzflächen der Rippen *A*, *B*, *C* und Kappenanfätze, wie *n*, zeigt. Die Ausmittelung diefer Anfatzflächen kann ohne Schwierigkeit unmittelbar aus der Zeichnung entnommen werden.

Eben fo werden die Schlufsfteine der im Scheitel des Gewölbes zufammentretenden Rippen als felbftändige Werkftücke in mannigfachfter, oft äufserft reicher, felbft phantaftifcher Art als befondere volle oder durchbrochene Werkftücke gearbeitet. In Fig. 536 ift ein einfacher Schlufsftein mit cylindrifchem Kern und befonders angearbeiteten Rippenanfätzen dargeftellt. Der Durchmeffer des cylindrifchen Kernes ift ftets fo grofs zu nehmen, dafs ein häfsliches Ineinanderfchneiden der Begrenzungslinien oder der Seitenflächen der Rippen vermieden wird. Häufig werden, wie Fig. 537 angiebt, auch die Rippenprofile an den Seitenflächen des cylindrifchen Kernes mit angearbeitet. Die Anordnung, Form, Ausfchmückung der Schlufsfteine ift der gröfsten Freiheit unterzogen worden. Gleiche Mafsnahmen können bei den gemeinfchaftlichen Zwifchenftücken fich kreuzender Rippen der Stern- und Netzgewölbe getroffen werden. Die Bauwerke der Gothik bieten hierfür eine ganz erhebliche Anzahl von Beifpielen.

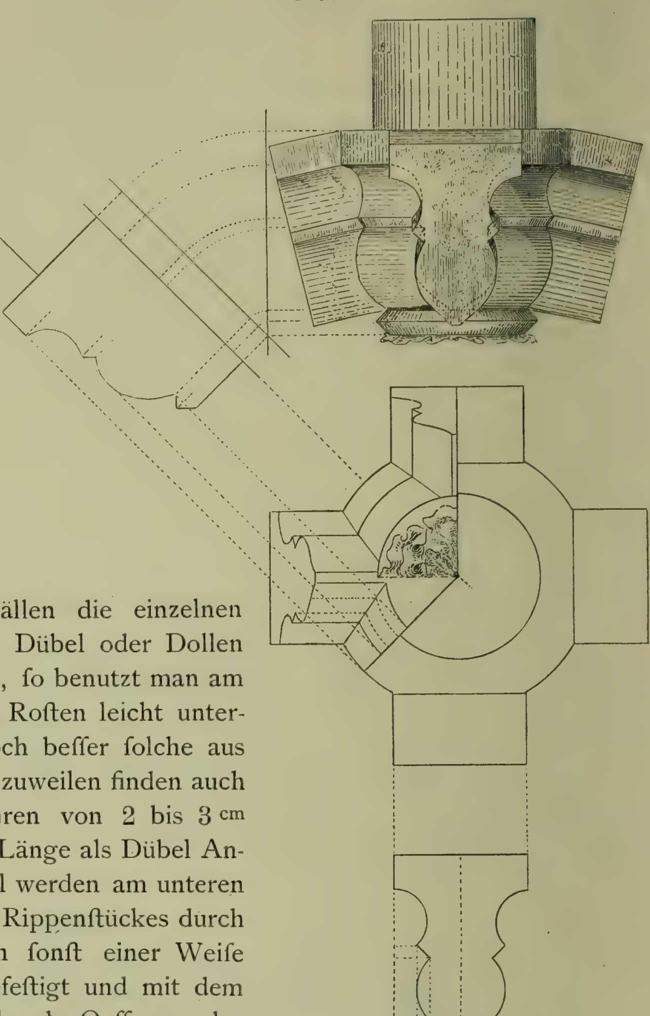
Fig. 536.



Für das Verfetzen der Werkftücke der Rippen ift das Einlegen dünner Blei-

platten bei den Fugenflächen fehr zweckmäfsig. Dabei treten die Ränder der Bleiplatten überall um 1 cm ringsum von den Kanten der zufammentretenden Lagerflächen der Rippenftücke zurück. Hierdurch entfteht eine ringsum laufende, 1 cm tiefe, offene Fuge, die ein durch Kantenpreffungen fonft leicht erfolgendes Abfplittern von Kantentheilen möglichft verhindert. Beim Verfetzen der Rippenftücke in Mörtel findet das in Art. 170 (S. 246) Vorgetragene Berückfichtigung.

Fig. 537.



Sollen in befonderen Fällen die einzelnen Stücke einer Rippe durch fog. Dübel oder Dollen mit einander verbunden werden, fo benutzt man am beften, ftatt der eifernen, dem Roften leicht unterworfenen Dübel oder Stifte, noch beffer folche aus Kupfer, Bronze oder Meffing; zuweilen finden auch Meffingröhren oder Kupferröhren von 2 bis 3 cm Durchmeffer und 10 bis 12 cm Länge als Dübel Anwendung. Die einzelnen Dübel werden am unteren Lagerflächentheile eines oberen Rippenftückes durch Einbleien, Eingypfen oder in fonft einer Weife der Hälfte der Länge nach befeftigt und mit dem freien Theile in eine entfprechende Oeffnung des darunter liegenden Rippenftückes gefchoben.

Bei Werkfteinrippen wird meiftens der Schlufsftein zuerft verfetzt und genau gerichtet. Durch genaues Vorreifsen der Mittellinie der Grundrifsbreite der Rippe auf ihrem Lehrbogen wird beim Verfetzen der einzelnen Rippenftücke vom Anfänger aus die in forgfamfter Weife zu wahrende Richtung der Rippenbogen angegeben.

Das Einwölben der Kappen zwifchen dem fertigen Rippengebilde ift in gleichmäfsigem Fortfchritte von allen Anfängen der einzelnen Kappengebiete aus vorzunehmen. Zeigt fich bei diefem Einwölben, wie zuweilen der Fall ift, ein leichtes Heben der Rippen nach dem Schlufsfteine zu, fo mufs für eine entfprechende, fpäter wieder zu befeitigende Belaftung des Schlufsfteines durch aufgelegte Backfteine rechtzeitig geforgt werden. Werden die Rippen aus Backfteinen oder befonderen Formfteinen ausgeführt, fo können diefelben entweder wie die Werkfteinrippen als felbftändige Bogen behandelt oder auch gleichzeitig mit der Wölbung der Kappen hergerichtet werden.

Sollen befondere, aus Quadern oder Backftein herzuftellende Schildbogen angeordnet werden, welche demnächft zur Hälfte vor der Fläche der Schildmauer

liegen follen, fo find in diefer Mauer fchon während ihrer Ausführung die zur Aufnahme der rückliegenden Hälfte diefer Schildbogen erforderlichen Nuthen oder Falze zu bilden. Solche Falze find auch für die Anfatzflächen der an die Schildmauern tretenden bufigen Kappen zu fchaffen. Nach Schlufs der Gewölbe findet ein Uebergiefsen mit dünnflüffigem Kalk- oder Cementmörtel zur Erzielung eines vollftändigen Schluffes der hier und dort mit Lücken behafteten Fugen des Wölbmauerwerkes ftatt. Etwa anzubringende Ausmauerungen der Gewölbzwickel oder Uebermauerungen der Rippen, Pfeiler u. f. f. find in regelrechtem Verbande herzuftellen. Ueber die Zeit der Ausführung, über die Mafsnahmen der Trockenhaltung, fo wie über die Ausrüftung der gothifchen Kreuzgewölbe find alle in Kap. 9, unter c bei der Befprechung der Ausführung der Tonnengewölbe angegebenen Gefichtspunkte wiederum zu beachten.

---

15. Kapitel.

Fächer- oder Trichtergewölbe.

a) Geftaltung der Fächergewölbe.

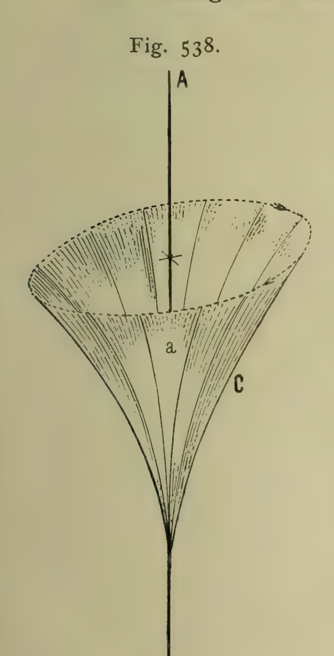
342. Form.

Das Fächergewölbe, auch Trichter-, Palmen- oder Strahlengewölbe genannt, befitzt als Laibungsfläche eine Umdrehungsfläche. Diefelbe wird durch Drehung einer gefetzmäfsig gebildeten ebenen Curve um eine in ihrer Ebene angenommene, fefte, lothrechte Axe erzeugt, welcher fie in jeder neuen Stellung ihre convexe Seite zukehrt. Hierdurch entfteht eine kegel-, bezw. trichterartige Gewölbeform.

Die allgemeine Grundgeftaltung der Laibungsflächen *a* diefer Gewölbe ift in Fig. 538 mit der erzeugenden Curve *C* und der feften lothrechten Axe *A* gekennzeichnet.

Als Erzeugende wird ein Kreisbogen, bezw. ein Viertelkreis, eine elliptifche Linie, bezw. eine Viertelellipfe, ein Korbbogen u. f. w. gewählt. Meiftens wird die erzeugende Curve fo geftellt, dafs in ihrem Fufspunkte die Führung einer lothrecht gerichteten Tangente möglich wird. An den fpätgothifchen Bauwerken Englands tritt bei den Fächer- oder Trichtergewölben vorzugsweife eine gedrückte, ziemlich flache, in der Erftreckung am Scheitel mäfsig gekrümmte Bogenlinie, welche der Hälfte eines fog. Tudorbogens angehört, als Erzeugende auf.

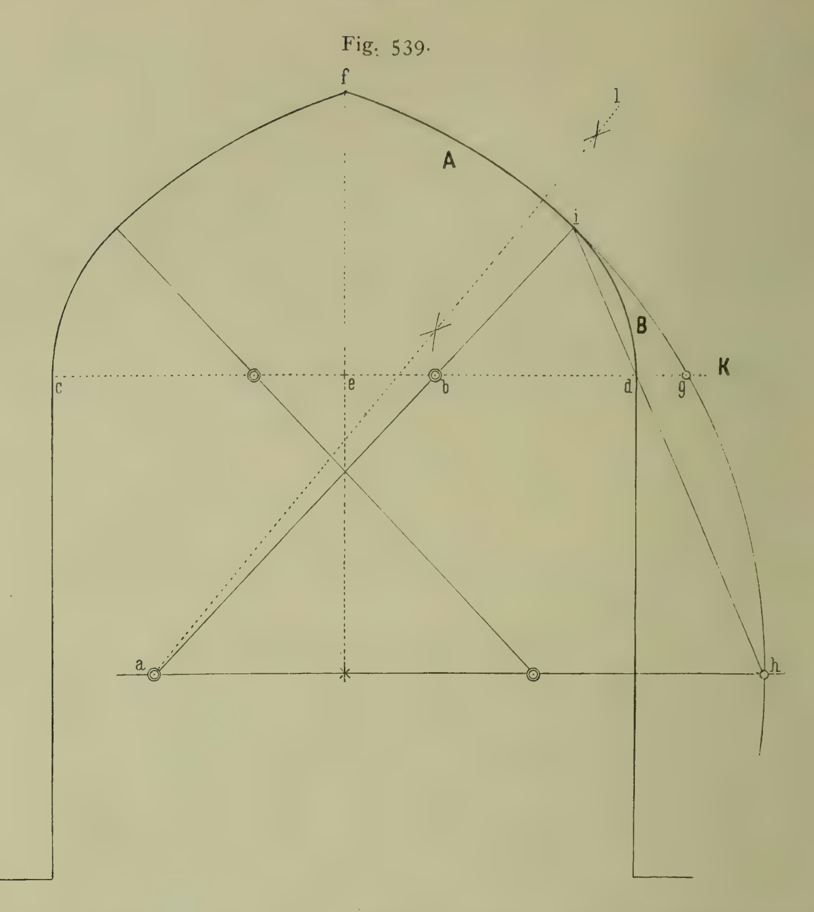
Fig. 538.



Der Tudorbogen ift im Allgemeinen ein Knickbogen; Fig. 539 zeigt hierfür eine Conftruction. Sind die Spannweite *cd* und die Pfeilhöhe *ef* vorgefchrieben, fo kann das Zeichnen des Bogens in folgender Weife vorgenommen werden.

Auf der Verbindungsgeraden *K* der Kämpferpunkte *c*, *d* wähle man aufserhalb der Spannweite *cd* den Punkt *g* beliebig, jedoch, falls eine längere flache Bogenlinie *A* nach dem Scheitel zu vorherrfchen foll, in einem nicht zu grofsen Abftande *dg* vom Kämpferpunkte *d*. Durch diefen Punkt *g* und den Scheitelpunkt *f* lege man einen Kreisbogen, deffen Mittelpunkt *a* auf der in bekannter Weife zu beftimmenden Geraden *l* fo gewählt wird, dafs die Bogenlinie *fg* die gewünfchte mäfsig

Fig. 539.



gekrümmte Form A erhält. Der fonft beliebig anzunehmende Punkt a liegt zweckmäfsig auf der Linie noch innerhalb des Gebietes der Spannweite cd.

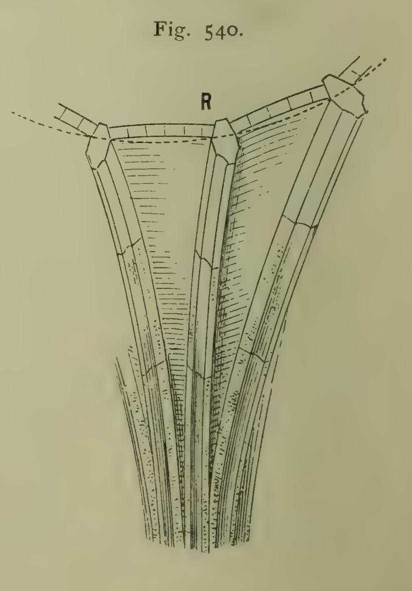
Ergänzt man den Kreisbogen fg zu einem Viertelkreife fh, zieht man den Strahl hd bis zum Schnitte i mit dem Bogen fg, und führt man zuletzt den Strahl ia; fo wird der Schnitt b diefes Strahles mit der Geraden cd der Mittelpunkt des Anfatzbogens B des halben Tudorbogens dif. Die beiden Kreisbogen A und B befitzen in i eine gemeinfchaftliche Tangente.

Der vollftändige Tudorbogen ift alfo im Befonderen ein gedrückter, aus 4 Mittelpunkten befchriebener Spitzbogen.

343. Rippenfyftem.

Setzt man an die Stelle der erzeugenden Bogenlinie wirkliche Rippenkörper R (Fig. 540), fo laffen fich diefe in ihrer Gefammtheit auf die erwähnte Umdrehungsfläche zurückführen.

Fig. 540.



Nimmt man den in der Kämpferebene der Rippen gelegenen Fufspunkt der lothrechten Umdrehungsaxe als gemeinfchaftlichen Ausgangspunkt ihrer Grundrifslinien (Axenlinien) an; giebt man den Grundrifswinkeln der ftrahlenförmig neben einander liegenden Rippenzüge möglichft diefelbe Gröfse, fo entfteht das geordnete Rippenfyftem des eigentlichen Fächer-, Strahlen- oder Palmengewölbes.

Zwifchen den Rippen liegen die verhältnifsmäfsig gering gefpannten, ohne Schwierigkeit einzuwölbenden oder fonft in einfacher Weife zu fchliefsenden Gewölbefelder (Gewölbekappen), Gewölbfache oder die fog. Fächer. Die gemeinfchaftliche Stütze des derart angeordneten Rippen- und Kappenkörpers tritt als Pfeiler oder als Säule auf. Die lothrechte Axe diefer Stütze ift die Verlängerung der Umdrehungsaxe des zugehörigen Gewölbftückes.

Je gröfser die Zahl der von einer Stütze ausgehenden Rippen ift, je mehr fich diefelben wie Palmzweige fchlank und nach oben gerichtet fächerförmig ausbreiten, um fo fchöner und ausdrucksvoller erfcheinen diefe Deckenbildungen.

Fig. 541.

Ift ein Raum von ausgedehnter Grundfläche mit Fächergewölben zu überdecken, fo ift durch Pfeiler- oder Säulenftellungen das Zerlegen diefer Grundfläche in Abtheilungen vorzunehmen. Die Grundrifsflächen der Abtheilungen find möglichft von gleicher Gröfse als Quadrate oder als Rechtecke an einander zu reihen. Die lothrechten Axen der Wand- und Zwifchenpfeiler, bezw. Säulen beftimmen dann fofort auch die Stellung der Axen für die Umdrehungsflächen des Gewölbefyftems, welches nunmehr eine Gruppe gleichmäfsig geftalteter Fächergewölbe umfafft.

344.
Quadratifche Grundform.

Hiernach ift in Fig. 541 im Grundrifs und im Schnitt nach *RS* die Geftaltung einer Anlage von Fächergewölben über Abtheilungen mit quadratifcher Grundfläche vorgenommen. Die verlängerte lothrechte Axe der Säule *c* giebt die in den Grundrifs niedergelegte Umdrehungsaxe *V*. Als erzeugende Curve der Umdrehungsfläche des Rippenfyftems ift der um *n* befchriebene Schenkel *D* eines in der diagonalen Richtung *ac* ftehenden Spitzbogens frei gewählt.

Eine in beliebiger Höhe *y* durch die Erzeugende *D* geführte wagrechte Ebene fchneidet die entftanden gedachte Umdrehungsfläche nach einem Kreife *w*. Diefer ift als Theilkreis für die Grundriffe der Axenlinien der von *c* ftrahlenförmig ausgehenden Gewölberippen benutzt. In der Zeichnung find die

Grundrifswinkel der Rippenlinien nach gleicher Gröfse feft gefetzt. Verfährt man in Rückficht auf das Feftlegen der Rippenftrahlen in übereinftimmender Weife bei allen Axen der Wand- oder Freiftützen, welche als Eckbildungen der einzelnen Abtheilungen des gefammten Deckenkörpers zu gelten haben, fo ergiebt fich, wie ohne Weiteres aus der Zeichnung zu entnehmen ift, der Grundrifs für fämmtliche Rippenlinien, welche, für eine Abtheilung an fich betrachtet, fternartig zufammentreten. Dabei treffen fich die Rippenlinien *ae* und *be* im Punkte *e* an der Stirnfeite *ab* der Abtheilung *h*. Der Stirnbogen diefer Abtheilung ift der Spitzbogen *AB* mit dem Scheitelpunkte *v*. Seine Schenkel *A*, bezw. *B* find mit dem unveränderlichen Halbmeffer *ns* des erzeugenden Kreisbogens *D* zu befchreiben. Die Schnitt-, bezw. Vereinigungspunkte *e*, *f*, *g*, *h* u. f. f. der einzelnen, entfprechend gelegten Rippenlinien liegen vermöge der unveränderlichen Form der Erzeugenden *D* in verfchiedenen Höhen über der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes. Sie beftimmen aber die Scheitellinien der Gewölbe für die einzelnen Abtheilungen. Die Höhen *iu* für den Punkt *f*, *kt* für den Punkt *g* u. f. f. find unter Benutzung der Erzeugenden *D* nach der in der Zeichnung enthaltenen Anleitung leicht zu finden.

Führt man in der Richtung zufammengehöriger Scheitellinien, z. B. *dr*, eine lothrechte Ebene *RS*, fo werden die Umdrehungsflächen der betroffenen Gewölbtheile nach einer wellenförmigen Linie $d' p' o' q' r'$ gefchnitten, welche die wirkliche Form der Scheitellinie ergiebt.

Sollten aus befonderen Gründen die wellenförmigen Scheitellinien ganz vermieden, vielmehr durch gerade Linien, welche unmittelbar von d' nach p' und von o' nach p' u. f. f. auffteigen, oder felbft durch wagrechte Linien erfetzt werden, fo mufs für die Rippen, wie *be*, *bf*, *bg* u. f. f., eine Umänderung der urfprünglichen Erzeugenden *D*, welche alsdann nur für die Rippen wie *ch*, *ah* u. f. f. beftehen bleibt, eintreten. Man verwendet alsdann für die Rippengruppe *be*, *bf*, *bg* u. f. f. den in Art. 288 (S. 418) befprochenen Korbbogen, deffen unteres Stück über dem Gewölbekörper aber in möglichft grofser Länge mit dem Halbmeffer der gegebenen Erzeugenden *D* befchrieben wird. In der englifchen Gothik ift bei Fächergewölben diefe Anordnung häufig gebraucht.

345. Rechteckige Grundform.

Werden die Grundriffe der Abtheilungen einer gröfseren Anlage von Fächergewölben als Rechtecke angeordnet, fo ift es nicht nöthig, die Grundrifsgeftaltung der Rippenftrahlen und die weitere Durchbildung des Wölbfyftems im Allgemeinen in einer von der quadratifchen Grundrifsform abweichenden Weife vorzunehmen.

Will man hinfichtlich der Strahlenlage der Rippen eine Aenderung eintreten laffen, fo kann, wie in Fig. 542 für die Hälfte einer rechteckigen Abtheilung eines Fächergewölbes angegeben ift, diefe Strahlenlage durch die geeignete Theilung der wagrechten Projectionen *fl*, *ml* der Scheitellinien des Gewölbes beftimmt werden.

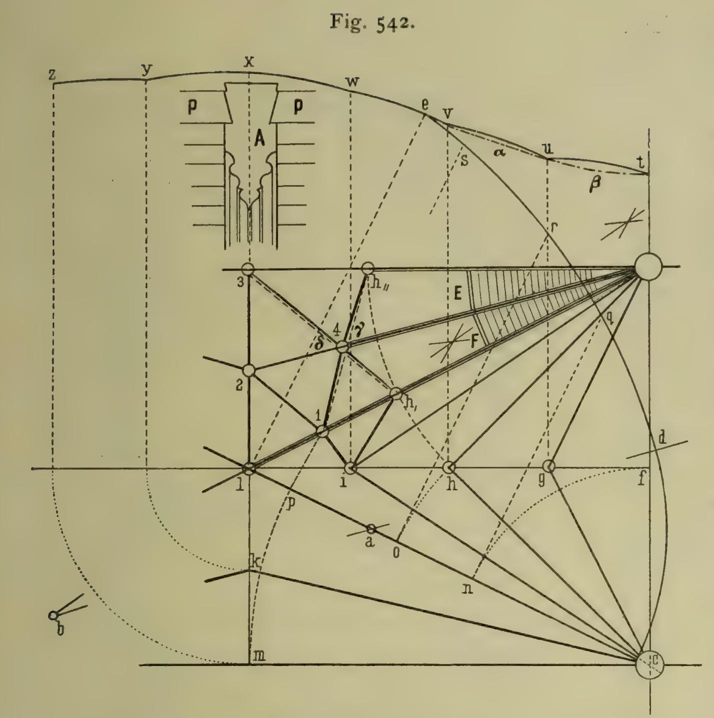
Hier ift die Scheitellinie *fl* in 4, *ml* in 2 gleiche Theile zerlegt. Die z. B. vom Fufspunkte *c* der Umdrehungsaxe nach jenen Theilpunkten gezogenen Geraden *cg*, *ch*, *ci*, *ck* ergeben in Gemeinfchaft mit der Diagonalenftrecke *cl* das Grundrifsgebilde der Rippen. Die Grundrifswinkel an der Stütze *c* find ungleich grofs.

Als Erzeugende der Rippen ift ein Knickbogen (Tudorbogen) *cde* gewählt, deffen unteres Stück bis *d* um *a* mit dem Halbmeffer *ad*, deffen oberes, weit längeres Stück *de* um *b* mit dem Halbmeffer *bd* befchrieben wurde. Diefer Bogen ift die lothrechte Projection der Rippenlinie *cl*. Die Form aller übrigen Rippenbogen ift hiervon unmittelbar abhängig gemacht. So entfpricht der Rippenbogen über *ch* dem Knickbogen bis zum Punkte *r*. Denn dreht man *ch* um *c* nach *co*, fo giebt der Schnitt *r* des in *o* auf *cl* errichteten Lothes *or* die Begrenzung des für die Rippe *cl* erforderlichen Theiles von dem zu Grunde gelegten erzeugenden Knickbogen an. In demfelben Sinne hat man zu verfahren, um z. B. in *cds* den halben Stirnbogen über *cm* oder in *cdq* den halben Stirnbogen über *cf*, wie aus der Zeichnung zu entnehmen ift, zu erhalten.

Die nach der Linie *fl* lothrecht geftellte Ebene fchneidet die Gewölbfläche nach der wellenförmigen Scheitellinie *tx*. Zur Beftimmung derfelben ift z. B. $ft = nq$, $lx = le$, $hv = or$ u. f. f. aufzutragen.

Hierbei ergeben fich, je nach der Form des erzeugenden Knickbogens, zuweilen auch nach unten

Fig. 542.



gebogene Stücke β, bezw. α. Dieſe ſind alsdann durch gerade anſteigende Linien tu, uv oder durch mäſsig nach oben gebogene Kreislinien zu erſetzen.

Die Scheitellinie der Ebene lm wird als Wellenlinie zy, yx mittels des erzeugenden Knickbogens, wie bei der Scheitellinie über fl gezeigt iſt, ermittelt.

Sollen in der Nähe des Scheitels in das ſtrahlenförmige Rippenſyſtem noch Zwiſchenrippen $ih_{,}$, $i\,1$, $1\,2$ u. ſ. f. eingefügt werden, ſo geht man zweckmäſsig mit dieſem Einfügen von einem Punkte $h_{,}$ des längſten Rippenſtrahles aus.

In der Zeichnung iſt zunächſt $h_{,}l$ im Punkte 1 halbirt. Die Gerade $i\,1$ iſt die Grundriſs-Projection einer Zwiſchenrippe. Eben ſo wird in der Geraden $1\,2$ die Grundriſslinie einer neuen Zwiſchenrippe erhalten.

Bewegt man den Punkt $h_{,}$ nach $h_{,,}$, ſo ergiebt ſich in $h_{,,}$ die wagrechte Projection eines Rippenpunktes, welcher genau ſo hoch, und zwar um or, über der Kämpferebene des Gewölbes liegt, als die den Projectionen h und $h_{,}$ zugehörigen Rippenpunkte.

Verbindet man 1 mit $h_{,,}$ und $h_{,}$ mit 3 durch gerade, hier punktirt gezeichnete Linien, ſo ſchneiden dieſelbe den Rippenſtrahl 2, welcher die Gewölbflächen E und F trennt, in den Punkten γ, bezw. δ, alſo im Allgemeinen nicht in einem gemeinſchaftlichen Punkte. Um die hier einzuſchaltenden Zwiſchenrippen mit einem gemeinſchaftlichen Anſchluſspunkte auf der Rippe 2 zu erhalten, wird die Strecke γδ im Punkte 4 halbirt und nunmehr 4 als gemeinſamer Punkt für die nach $4h_{,}$, $4\,1$, $4h_{,,}$ und $4\,3$ gerichteten Zwiſchenrippen zu Grunde gelegt.

Das Austragen der wirklichen Geſtalt der Bogenlinien der verſchiedenen Zwiſchenrippen iſt unter ſteter Benutzung des erzeugenden Knickbogens auf bekanntem Wege vorzunehmen.

Die Ermittelung der Normalſchnitte und der zugehörigen Kappenfalze p, welche der gewählten Art der Einwölbung zu entſprechen haben, kann für irgend einen Rippenkörper A nach dem in Art. 301 bis 308 (S. 435 bis 449) Geſagten leicht bewirkt werden.

346.
Umformung des Fächergewölbes.

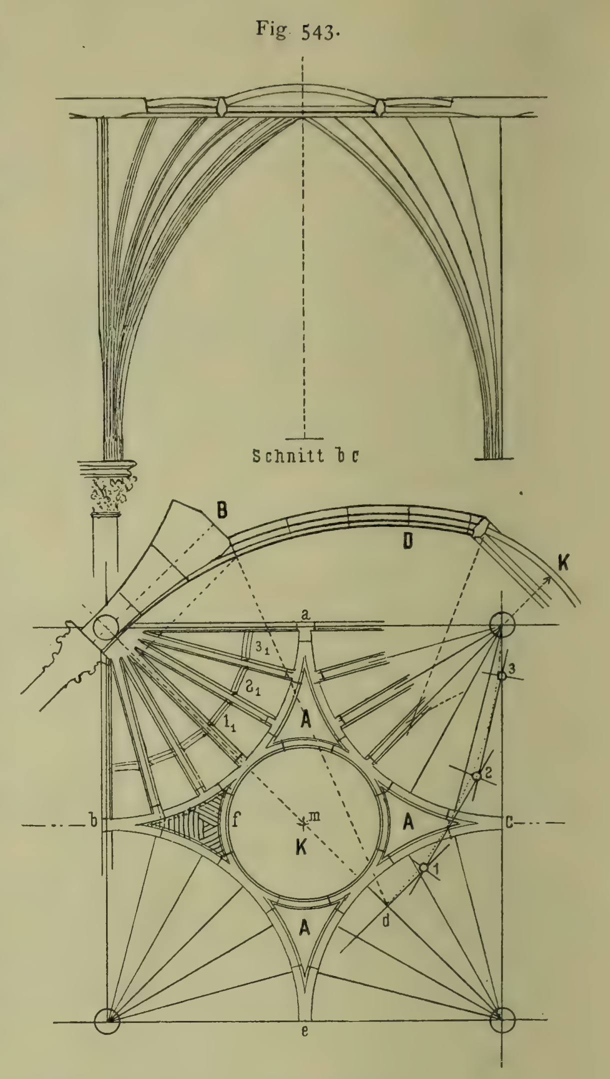
Eine Umformung, aber gleichzeitig auch eine etwas gekünſtelte Geſtaltung des Fächergewölbes ergiebt ſich, ſobald die nach einer gegebenen, unveränderlichen Erzeugenden gleichförmig gebildeten, ſtrahlenförmig ſich erhebenden Rippen mit ihrem oberen Ende gegen wagrecht liegende, nach Viertelkreiſen gekrümmte Abſchluſsrippen geſetzt werden.

Dieſe Gewölbebildung, welche in der ſpäteſten Zeit der Gothik entſtand und ab und an noch Verwendung findet, iſt in Fig. 543 dargeſtellt.

Die Erzeugende D gilt für alle Rippen des Fächergewölbes. Die nach Viertelkreiſen geformten, wagrechten Abſchluſsrippen ab, ac, eb, ec umſchlieſsen ein gröſseres Zwickelfeld $abce$, das durch eine die Abſchluſsrippen mit verſpannende

Kranzrippe *f* in kleinere dreieckförmige Nebenzwickel *A* und eine Kreisfläche *K* zerlegt wird. Die Einwölbung der Gewölbfache 1_1, 2_1 u. f. f. kann nach Kugelflächen ftattfinden, deren Mittelpunkte *1*, *2* u. f. f. nach den in Art. 285 (S. 413) gemachten Angaben zu beftimmen find. Die Gewölbzwickel *A* können durch Steinplatten oder durch ganz flache Kappengewölbe oder Kloftergewölbe gefchloffen werden, während die Kreisfläche *m*, der fog. Spiegel, meiftens mit einem flachen, tellerförmigen Kugelgewölbe überdeckt wird.

Fig. 543.



Das eigentliche Fächergewölbe und das umgeformte Fächergewölbe geftatten eine äufserft reiche, felbft üppige Durchbildung, welche fogar an das Phantaftifche herantreten kann. In keinem Falle darf aber die Fülle der Formen die grundlegenden, dem Gewölbebau ftreng entfprechenden Conftructionsregeln in den Hintergrund drängen, damit Geftaltung und Ausführung der Fächergewölbe nicht in eine Spielerei ausarten. Durch geeigneten Farbenfchmuck kann den Fächergewölben ein erhöhter Reiz verliehen werden.

b) Stärke der Fächergewölbe und ihrer Widerlager.

347. Gewölbftärke.

Das Rippenfyftem der Fächergewölbe entfpricht im Wefentlichen demjenigen des Sterngewölbes und damit auch demjenigen des gothifchen Kreuzgewölbes. Eben fo find die Einwölbungen der Gewölbfache bei den Fächergewölben in der Form im Allgemeinen als bufige Kappen, wie bei den genannten Kreuzgewölben, zu behandeln.

Aus diefem Grunde gelten alle diejenigen Unterfuchungen, welche zur Prüfung der Stabilität und zur Beftimmung der Stärke der Rippen und Kappen für die bezeichneten Kreuzgewölbe in Art. 314 bis 330 (S. 460 bis 481) näher befprochen find, auch für die Fächergewölbe.

348. Widerlagsftärke.

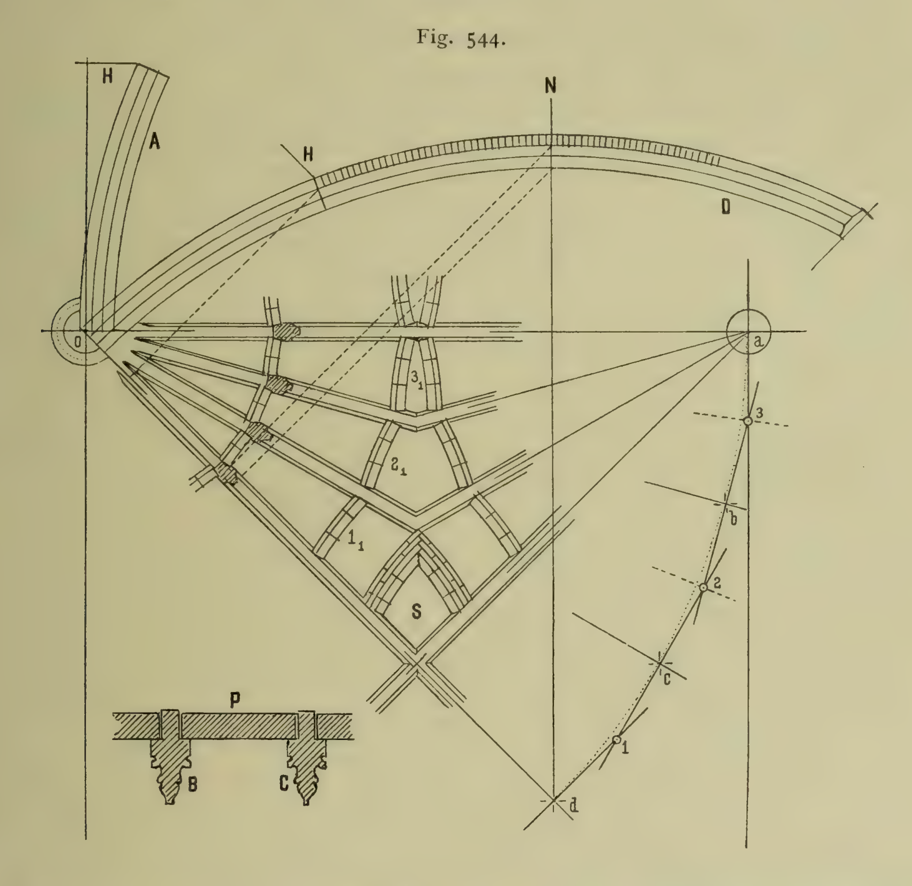
Auch für die Ermittelung der Stärke der Widerlager der Fächergewölbe kommen wiederum alle in diefer Beziehung bei den gothifchen Kreuzgewölben in Art. 332 bis 338 (S. 481 bis 488) behandelten Punkte ohne Weiteres zur Geltung.

c) Ausführung der Fächergewölbe.

349.
Gewölbe-
kappen.

Die fämmtlichen Vorfchriften und Mafsnahmen, welche in Art. 339 bis 341 (S. 489 bis 495) für die Ausführung der gothifchen Kreuzgewölbe hinfichtlich der Herftellung der Kappen und der Anfertigung, bezw. Aufftellung der Rippen mitgetheilt find, werden auch bei der Ausführung der eigentlichen Fächergewölbe innegehalten. Die Rippen werden durch Lehrbogen unterftützt. Die Kappen, welche bei den einer fremden Belaftung meiftens nicht ausgefetzten Fächergewölben gewöhnlich nur ½ Backftein ftark ausgeführt werden, find freihändig mit Bufung unter Verwendung gut bindenden Mörtels zu mauern.

Fig. 544.



In Fig. 544 find die Grundrifs-Projectionen einiger Wölbfchichten der Kappen, welche hier eine Bufung nach reinen Kugelflächen mit den Mittelpunkten *1*, *2*, *3* und dem Kugelhalbmeffer *do* der Erzeugenden *D* der Rippenkörper erhalten haben, gegeben. Hiernach ift $od = oc = ob$. Die in *d* auf *od* und in *c* auf *oc* u. f. f. errichteten Lothe liefern in ihren Schnitten *1*, *2* u. f. f. jene Kugelmittelpunkte der einzelnen Gewölbfache 1_1, 2_1, 3_1. Nach der an der Rippe *D* vorgenommenen Theilung der Wölbfchichten und Anordnung der Lagerflächen in der radialen Richtung *dN* ergeben fich fofort die nöthigen Anhaltspunkte für die Darftellung der Wölbfchichten im Grundrifs. In den Scheitellinien der einzelnen Gewölbfache treten die Wölbfchichten auf Schwalbenfchwanz-Verband, wie bei *S* fich zeigt, zufammen.

Sollen die Gewölbfache unverputzt bleiben oder gar in verfchieden gefärbten Backfteinen als Schmuck befondere Mufter erhalten, fo ift ftets eine forgfältig angefertigte Zeichnung diefer Wölbfchichten der Ausführung zu Grunde zu legen.

Tritt bei kleinen Gewölbfachen ftatt der Wölbung eine Plattendeckung *p* ein, fo erhalten die tragenden Rippenkörper *A*, *C* bei einer hinlänglichen Stärke entfprechend tiefe, 5 bis 8 cm breite Falze. Die meiftens nur fchmalen Platten find forgfam in Mörtel zu verfetzen.

350. Rippen.

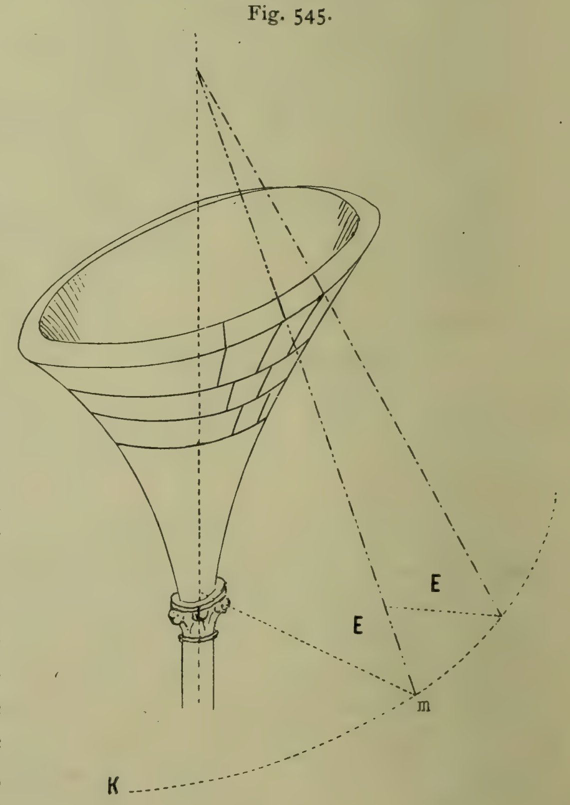
Die Rippen der Fächergewölbe können aus Backftein oder Hauftein hergeftellt werden. Zweckmäfsig werden die Kämpferftücke *A* (Fig. 544) der über den Wand- oder Zwifchenftützen zufammentretenden, fich vielfach hier abzweigenden Rippen bis zu einer Höhe *H*, in welcher eine regelrechte Kappenwölbung beginnen kann, felbft für Backfteinrippen aus Quadern in einem Stücke oder aus mehreren, durch wagrechte Lagerfugen getrennten Schichten angefertigt.

Bei den Abfchlufs- und den Kranzrippen der Spiegel des in Art. 346 (S. 499) befchriebenen umgeformten Fächergewölbes mufs, wie in Fig. 543 bereits mit angegeben ift, auf einen Fugenfchnitt diefer Rippen Bedacht genommen werden, welcher, bei Vermeidung zu grofser Einzelftücke, ihre möglichft gute Verfpannung unter fich und mit den Endftücken der Fächerrippen zu bewirken vermag.

351. Gewölbe ohne Rippen.

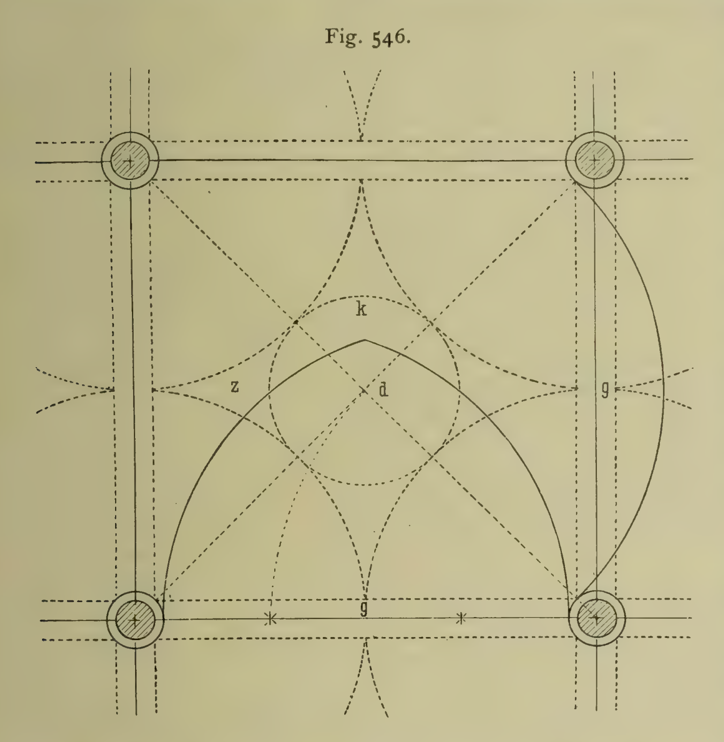
Führt man für den Gewölbkörper ein felbftändiges Rippenwerk nicht aus, läfft man vielmehr die Laibungsfläche des Gewölbes ausfchliefslich als Umdrehungsfläche beftehen und wird hiernach das Gewölbe gleichfam als eine maffive, trichterförmig nach oben fich ausbreitende Schale gemauert, fo entfteht das eigentliche Trichtergewölbe. Im Ziegel-Rohbau laffen fich folche Gewölbe ziemlich leicht herftellen. Die wirkliche, auf ftrengen Regeln des Gewölbebaues beruhende Bildung und Ausführung der an und für fich beachtenswerthen Fächergewölbe, bei welchen das fchön und fachgemäfs geordnete Rippenfyftem die Hauptrolle übernimmt, um als Gruppe von Tragkörpern für die mit Bufung ausgeführten Kappenwölbungen dienen zu können, wird bei den Trichtergewölben jedoch zu fehr in den Hintergrund gedrängt. Gehören auch die Lagerflächen des Gewölbkörpers in Rückficht auf die jedesmalige Umdrehungsaxe geraden Kegelflächen an, deren gemeinfchaftliche Bafis in der wagrechten Kämpferebene als der Kreis *K* (Fig. 545) auftritt, welchen der Mittelpunkt *m* bei der Drehung der Erzeugenden der Trichterfläche befchreibt, fo liegen andererfeits die Stofsflächen der Wölbfchichten in lothrechten Ebenen *E*, welche fich fämmtlich in

Fig. 545.



der Umdrehungsaxe fchneiden. Die Lagerkanten zwifchen den Stofsflächen müffen demnach an der Seite des Steines, welche der Umdrehungsaxe zugekehrt ift, kürzer fein, als an der in der Laibungsfläche des Trichterkörpers liegenden Seite, fo dafs ein Abrutfchen der Steine der einzelnen Wölbfchichten auf den nach innen geneigten Lagerflächen leicht eintreten kann. Die durch die Geftaltung des Wölbkörpers geforderte Anordnung der Stofsfugenflächen entfpricht aber nicht dem wahren Gefüge und dem inneren Wefen des Gewölbebaues. Um das Abrutfchen der Wölbfteine zu verhindern, ift die Anwendung eines ftark bindenden Mörtels, nicht allein für die Vermauerung der Steine der Trichterftücke, fondern auch für den Wölbkörper der zwifchen den Trichtern liegenden Spiegel, geboten, fo dafs im Allgemeinen das forgfam herbeigeführte Feftkleben der Steine durch Mörtel vorherrfchend ift. Aus diefem Grunde nähern fich derart ausgeführte Trichtergewölbe den fog. Gufsgewölben. Der Fufs der einzelnen Trichterftücke wird in wagrechten, nach und nach vorgekragten Schichten, zweckmäfsig in fog. Rollfchichten, in folcher Höhe ausgeführt, bis eine ausreichende Lagerfläche für die ringförmigen oberen Wölbfchichten entftanden ift. Statt diefes aus Backftein gemauerten Anfängers ift beffer ein Anfänger aus Quadern zu verwenden.

Fig. 546.



Bei der Mauerung der Gewölbe, welche felten eine Spannweite über 4 m in den einzelnen Abtheilungen erhalten und meiftens nur als Ziergewölbe ohne weitere fremde Belaftung gelten, werden nur leichte, einfache Lehrbogen an den Seiten und in der Richtung der Diagonalen der zugehörigen Abtheilungen aufgeftellt. Diefe Hilfsbogen und eine nach der Erzeugenden der Umdrehungsfläche begrenzte, drehbare Brettfchablone ermöglichen das Innehalten der Gewölbeform. Die Stärke diefer Gewölbe ift meiftens gleich $^1/_2$ Backftein.

Die eben befprochene Herftellung der Trichtergewölbe wird hinfichtlich ihrer Standfähigkeit einigermafsen durch Gurtbogen *g* (Fig. 546), welche die Abtheilungen der Gewölbe an den Seiten begrenzen, verbeffert. Aufserdem ift die Einwölbung des Kranzes *k* im Spiegel und die Ausführung der Zwickelgewölbe *z* mit kleinen, bufigen Kappen, fo wie der Schlufs innerhalb des Kranzes mit einem ganz flachen Kugelgewölbe rathfam. Eine weitere Verbefferung kann, namentlich bei Gewölben über 4 m Spannweite, noch durch Hinzufügen von Gurtbogen in der Richtung der Diagonalen *d* der Abtheilungen herbeigeführt werden. Die einzelnen Gurtbogen

erhalten zur Aufnahme der Wölbfchichten die in Fig. 450, II (S. 387) bereits angegebene Verzahnung.

Die Laibungsflächen diefer Gewölbe werden geputzt, häufig cannelirt, auch entfprechend mit Stuck oder Malerei gefchmückt. Die in Folge der Richtung der Stofsfugen beftehenden Mängel ihrer Conftruction werden hierdurch wohl verfchleiert, aber nicht befeitigt.

---

16. Kapitel.

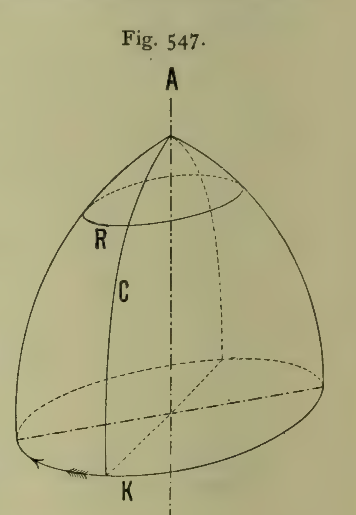
Kuppelgewölbe.

a) Geftaltung der Kuppelgewölbe.

352.
Form.

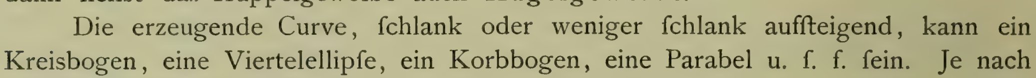
Die Laibungsfläche des Kuppelgewölbes ift eine Umdrehungsfläche. Diefelbe kann in ihrer einfachften Form durch Drehung einer gefetzmäfsig gebildeten ebenen Curve um eine ihrer Ebene angehörende, fefte, lothrecht ftehende Axe erzeugt werden, welcher fie bei der Drehung ftets ihre concave Seite zuwendet. Jeder Punkt der erzeugenden Curve befchreibt nach vollendeter Drehung einen in wagrechter Ebene liegenden Kreis. Der Grundrifs der hiernach geftalteten Laibungsfläche des Kuppelgewölbes ift alfo gleichfalls ein Kreis.

Fig. 547.



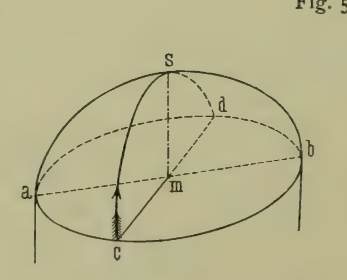
Diefe einfachfte Entwickelung der Form einer Kuppelgewölbfläche ift in Fig. 547 mit der erzeugenden Curve C, der feften lothrechten Axe A, dem Grundrifskreife K und einer beliebigen fog. Ringlinie R zur Anfchauung gebracht. In der Regel befitzt die als Erzeugende gewählte Curve in ihrem Fufspunkte eine lothrechte Tangente.

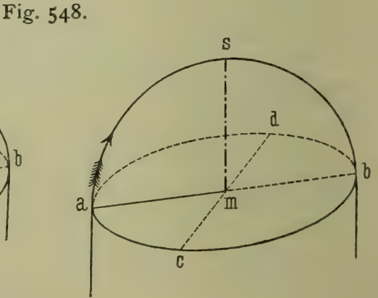
Ift diefe Curve ein Viertelkreis, fo entfteht für die Laibung des Kuppelgewölbes eine Halbkugelfläche. Alsdann heifst das Kuppelgewölbe auch Kugelgewölbe.



Die erzeugende Curve, fchlank oder weniger fchlank auffteigend, kann ein Kreisbogen, eine Viertelellipfe, ein Korbbogen, eine Parabel u. f. f. fein. Je nach der Wahl derartiger Erzeugenden ift die mehr oder weniger zum kräftigen Ausdruck zu bringende Form der Laibungsfläche der Kuppelgewölbe zu geftalten.

Fig. 548.





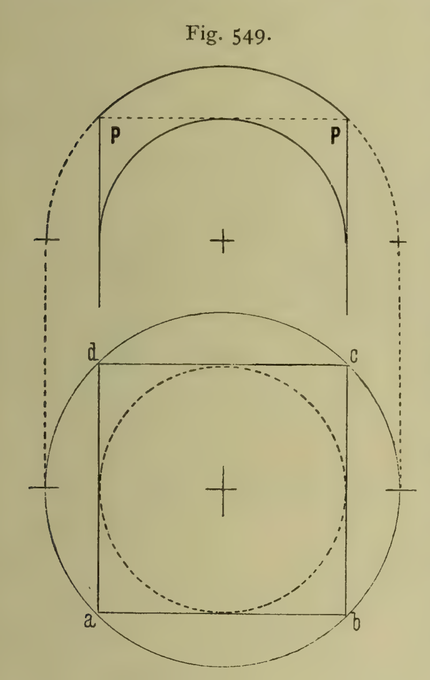
Bedingt die angegebene Weife der Erzeugung der Kuppelgewölbfläche einen Kreis als Grundrifs, fo läfft fich doch felbft bei elliptifchem Grundriffe die Laibung des fog. elliptifchen Kuppelgewölbes nach Fig. 548 durch Drehung der halben Ellipfe $a\,b\,c$ um die grofse, in wagrechter Ebene liegende

Axe *a b* oder auch durch Drehung der halben Ellipfe *c d a* um die zugehörige kleine Axe *c d* ebenfalls leicht erzeugen. In erfterem Falle giebt jede rechtwinkelig zu *ab* ftehende Ebene einen Halbkreis als Schnitt, während jede lothrechte, parallel zu *ab* ftehende Ebene die Laibungsfläche nach halben Ellipfen fchneidet. Entfprechend würden derartige Schnitte von Ebenen bei der zweiten angegebenen Erzeugungsart der Gewölbfläche zu beftimmen fein. Hier giebt jede rechtwinkelig zu *cd* ftehende Ebene einen Halbkreis als Schnitt.

Durch die befchriebenen Geftaltungen der Kuppelgewölbflächen ift jedoch die Ausbildung der Kuppelgewölbe über kreisrunden oder elliptifchen Grundriffen allein keineswegs befchränkt.

Mögen die Kuppelgewölbe in frühefter Zeit, abgefehen jedoch von der Ausführung in der Deckenbildung felbft, vorwiegend über Räumen mit reinem Kreisgrundriffe hergeftellt fein, weil diefe Anordnung naturgemäfs am nächften lag, fo zeigt fich beim Verfolgen des Weges, welchen die Entwickelung des Gewölbebaues eingefchlagen hat, fehr bald die Spur, welche darauf hinweist, Kuppelgewölbe über zehneckigen, achteckigen, alfo vieleckigen, und weiter über quadratifchen Grundriffen in Anwendung zu bringen.

Fig. 549.



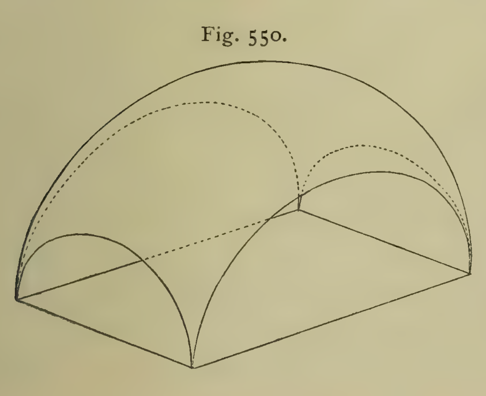
Baugefchichtliche Anhaltspunkte hierfür find in Theil II, Band 2 diefes »Handbuches« geboten.

353.
Stutz- oder Hängekuppel:
Erftes Syftem.

Befondere, nach verfchiedenen Seiten fich geltend machende Syfteme in der Geftaltung der Kuppelgewölbe werden im Allgemeinen durch die quadratifche Grundrifsform veranlafft.

Bleibt zuerft die Umdrehungsfläche als Laibungsfläche des Kuppelgewölbes beftehen, wie folches einem Kreisgrundriffe angehören würde, fo geht der Grundkreis diefer Kuppelfläche (Fig. 549) durch die Ecken *a*, *b*, *c*, *d* des quadratifchen Grundriffes. In den Seiten *ab*, *bc* u. f. f. aufgeftellte lothrechte Ebenen fchneiden von der Gewölbfläche genau beftimmbare Stücke ab, fo dafs die Fufspunkte *a*, *b*, *c*, *d* der Kuppel die Anfänge von Kuppelzwickeln *P*, Pendentifs genannt, find, welche feitlich durch die Schnittlinien der Ebenen *ab*, *bc* u. f. f. begrenzt werden. Diefe Schnittlinien bilden die Stirnbogen der Kuppelgewölbfläche. Hierdurch entfteht das Syftem der fog. einfachen Stutzkuppel oder Hängekuppel. Im Befonderen kann die Geftaltung derartiger Stutzkuppeln auch über rechteckigen Grundriffen (Fig. 550) oder über vieleckigen Grundriffen, deren Ecken dann aber zweckmäfsig, zur Vermeidung ungleicher Höhenlage der Fufspunkte der Kuppelzwickel, im Grundkreife der Kuppelflächen liegen, Platz greifen.

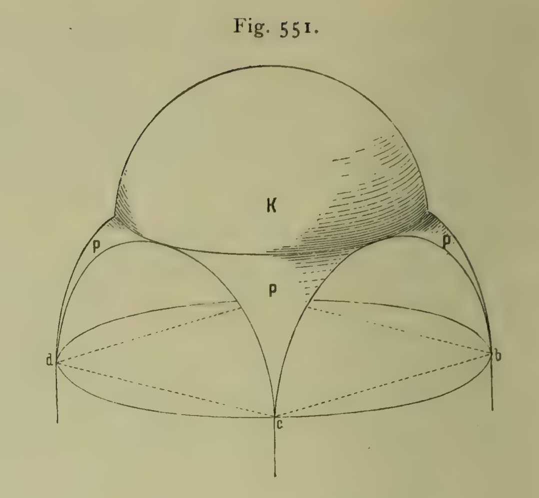
Fig. 550.



Müffen die Fufspunkte der Kuppelzwickel

in beſonderen, von der Grundriſsbildung der zu überdeckenden Räume abhängigen Fällen eine ungleiche Höhenlage erhalten, ſo iſt die Geſtaltung der Kuppelgewölbfläche mit Pendentifs füglich doch bei jedem beliebig begrenzten Grundriſſe möglich, wenn nur der in der Ebene der Grundriſsfigur liegende Grundkreis der Kuppelfläche im Allgemeinen die Grundriſsfläche des Raumes umzieht.

Fig. 551.



354. Zweites Syſtem.

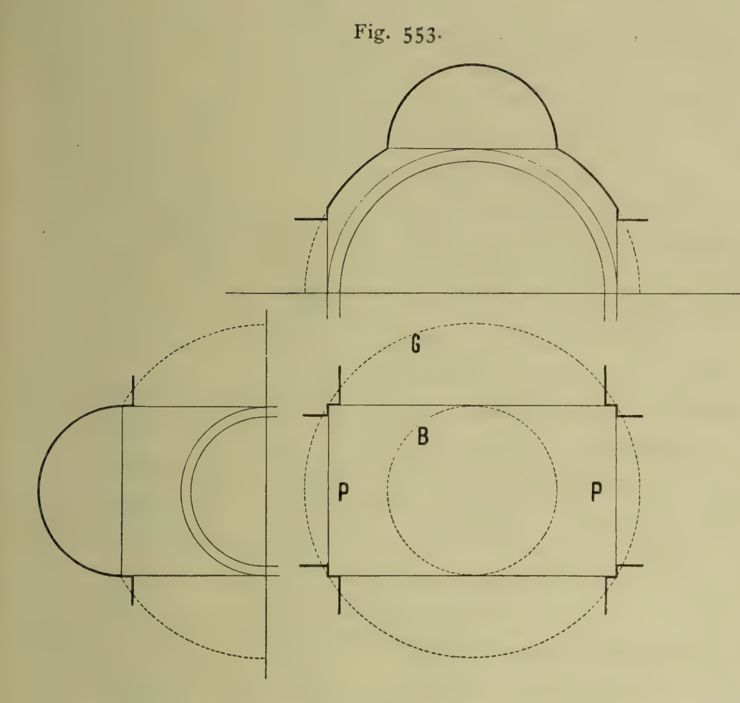
Geht man wiederum von einem quadratiſchen Grundriſſe aus, ſo erfolgt ein zweites Syſtem der Geſtaltung der Hängekuppel, ſobald über einer Kuppelfläche *P* (Fig. 551), deren Grundkreis *bcd* dem Quadrat umſchrieben iſt und welche dabei in ihrer Laibung die Kuppelzwickel *P* allein liefert, noch eine zweite Kuppelfläche *K* gebildet wird, deren Grundkreis den eingeſchriebenen Kreis des Quadrats als wagrechte Projection beſitzt.

Fig. 552.

Bei der Annahme der Kuppelflächen als Kugelflächen iſt in Fig. 552 die zeichneriſche Durchbildung dieſes zweiten Syſtems der Geſtaltung der Hängekuppel über einem quadratiſchen Grundriſſe näher angegeben. Das Kreisſtück *G* kennzeichnet den umſchriebenen, für die Geſtaltung der Pendentifs *P* der unteren Kuppelfläche maſsgebenden Grundkreis, während das Kreisſtück *B*, dem eingeſchriebenen Kreiſe angehörend, die wagrechte Projection des Grundkreiſes der aufgeſetzten Kuppelfläche bedingt.

Will man ſtatt der Kugelflächen *P* und *K* andere, geſetzmäſsig geſtaltete und in günſtiger Form auftretende Umdrehungsflächen als Kuppelgewölbflächen anwenden, ſo bleiben die Grund-

Fig. 553.



kreife *G* und *B* unverändert beftehen.

Diefes zweite Syftem der Geftaltung der Hängekuppel kann unter entfprechender Beachtung und Einfügung der Grundkreife *G* und *B* auch über rechteckigen Grundriffen (Fig. 553) oder mehrfeitigen regelmäfsigen Grundriffen (Fig. 554) zur Durchführung gelangen. Zahl und Form der hierbei auftretenden Pendentifs *P* find fofort zu erkennen. Beim Feftlegen des Grundkreifes *B* kann auch felbft von feiner Berührung mit den beiden langen Seiten der Grundrifsbegrenzung durch Verkleinerung feines Halbmeffers Abftand genommen werden.

355.
Drittes
Syftem.

Wird zwifchen dem unteren, die Pendentifs enthaltenden Theile der Hängekuppel und der oberen aufgefetzten Kuppelfläche noch eine lothrechte cylindrifche Gewölbfläche *T*, Trommel oder Tambour genannt (Fig. 555), eingefügt, welcher der Grundkreis *B* als Leitlinie zugewiefen wird, fo entfteht das Syftem der fog. Hängekuppel mit Tambour.

Fig. 554.

In der Regel werden in dem Tambour, deffen Höhe, der architektonifchen Durchbildung der gefammten Kuppelanlage gemäfs, fehr verfchieden ausfallen kann, Lichtöffnungen zur Erhellung der Kuppel durch Tageslicht angebracht.

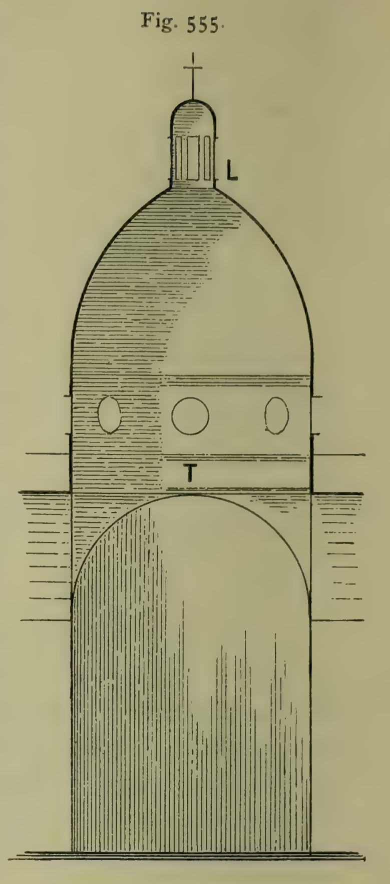
356.
Lichtring.

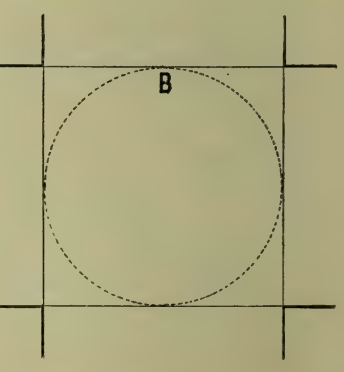
Die bei den Kuppelgewölben ganz befonders beachtenswerthe Einwölbungsart nach concentrifchen Ringfchichten, worauf bereits in Art. 315 (S. 460) näher hingewiefen ift, geftattet die Schaffung einer freien Oeffnung als Abfchlufs des Kuppelgewölbes. Die Ringfchicht, welche diefe Oeffnung begrenzt, heifst Lichtkranz, Lichtring, auch Schlufsring. Die Oeffnung felbft, in irgend einer Weife als Deckenlicht verwerthet, geftattet die Beleuchtung der Kuppel durch Tageslicht in nicht zu unterfchätzender Weife.

Benutzt man den Lichtkranz als Träger eines befonderen, in einfacher oder reicher Art ausgeführten, mit Lichtöffnungen verfehenen Kuppelauffatzes *L*, Laterne genannt, fo entfteht das Kuppelgewölbe mit Laterne (Fig. 555).

Die Krönungen der Kuppeln, mögen dieselben in der Formgebung der äusseren Umrahmungen der Lichtkränze oder in der Ausbildung des Baukörpers der Laternen ihren Ausklang finden, geben in Verbindung mit einer glücklichen Wahl der eigentlichen Bogenlinie der Kuppelfläche belangreiche Grundlagen für die würdige und hervorragende äussere Gestaltung bedeutungsvoller Bauwerke.

Fig. 555.





Die Erkenntniss dieser Grundlagen und ganz besonders die Einfachheit der praktischen Ausführbarkeit der Kuppelgewölbe gaben Veranlassung, diese Gewölbe als »Grofs-Constructionen« ersten Ranges einzuführen. Durch die bei Kuppelgewölben sich geltend machenden, im Allgemeinen günstig zu nennenden statischen Verhältnisse zwischen Wölb- und Widerlagskörper fand das Bestreben, selbst in kühner Weise Kuppelbauten zu errichten, an und für sich die kräftigste Unterstützung.

357.
Stichkappen.

Sollen im eigentlichen Kuppelgewölbe Lichtöffnungen angebracht werden oder reichen die oberen Abschlussbogen von Fenster- bezw. Thüröffnungen über den Fuss des Kuppelgewölbes hinauf, so werden für diese Anlagen wieder die sog. Stichkappen erforderlich. In den meisten Fällen gehören die Laibungen der Stichkappen Kegelflächen an, deren Axen nach dem Mittelpunkte des Grundkreises der mit Stichkappen zu versehenden Kuppelflächen gehen. Hierbei ist jedoch die Wahl einer Cylinder- oder Kugelfläche für die Laibungen der Stichkappen durchaus nicht ausgeschlossen.

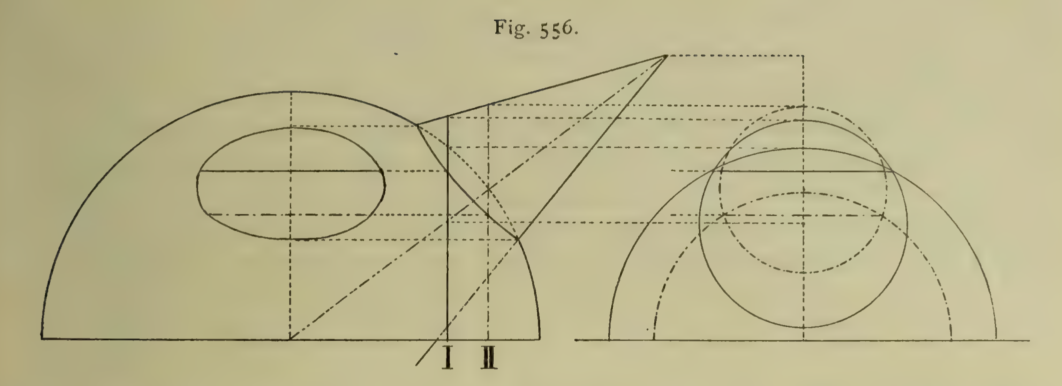
Das über die Ausmittelung der Stichkappen beim Tonnengewölbe in Art. 164 bis 167 (S. 235 bis 243) Gesagte bleibt im Wesentlichen auch beim Kuppelgewölbe geltend.

Eben so bleiben auch hier die sämmtlichen Gesichtspunkte, welche beim Klostergewölbe in Art. 206 (S. 306), bezw. in Art. 207 (S. 307) für die Bildung der Stichkappen oder Lunetten aufgestellt sind, ihrem eigentlichen Inhalte nach bestehen.

Vollständig ringförmige Stichkappen, sog. Ochsenaugen, entstehen bei der Durchdringung von Kegelflächen, bezw. Cylinderflächen mit der Kuppelgewölbfläche. Meistens werden Kegelflächen gewählt. Die Leitlinie der Kegelflächen kann ein Kreis oder eine Ellipse sein. Die Kegelaxen sind wiederum zweckmäfsig nach dem Mittelpunkte der zu durchdringenden Kuppelfläche gerichtet. Die Spitzen der Kegelflächen der runden Stichkappen liegen in entsprechender Entfernung oberhalb der Rückenfläche des Kuppelgewölbes.

Die Ausmittelung dieser ringförmigen Stichkappen erfolgt durch die an und für sich einfache Bestimmung der Schnittlinien der Kegelflächen mit der Kuppel-

Fig. 556.



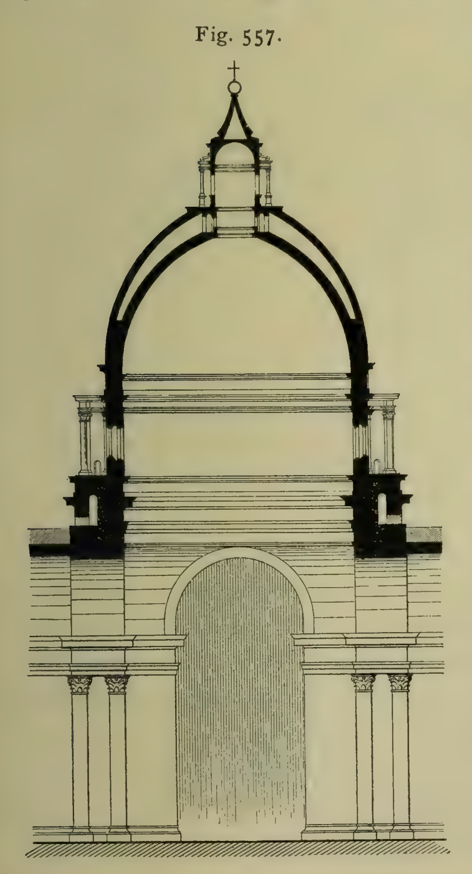
fläche. Die Anleitung zu diefer Beftimmung giebt Fig. 556, wobei für das Hauptgewölbe eine Kugelfläche, für die Laibung der runden Stichkappe eine Kegelfläche, deren Schnitte durch die lothrechten Ebenen *I*, *II* u. f. f. Kreife werden follen, angenommen ift.

Die Ermittelungen der inneren Begrenzungen und die damit in Verbindung ftehenden allgemeinen Geftaltungen des Ochfenauges bieten auch bei anderen Laibungsflächen des Gewölbes und der Stichkappen keine Schwierigkeiten. Die gefchaffene Lichtöffnung wird durch einen im Kuppelgewölbe liegenden Wölbkranz umrahmt.

358. Doppelkuppel.

Erheben fich über einem gemeinfchaftlichen Grundriffe zwei in geringerer oder gröfserer Entfernung über einander liegende felbftändige Kuppelgewölbe mit von einander verfchiedenen Umdrehungsflächen, fo entftehen die fog. Doppelkuppeln. Ihre Beftandtheile find das gemeinfchaftliche Widerlager, die innere Kuppel und die äufsere Kuppel oder die Schutzkuppel. Letztere bildet gleichfam das Dach, um fchädliche Witterungseinflüffe vom inneren Kuppelgewölbe fern zu halten. In der Regel treten beide Kuppelgewölbe in geringer Höhe über ihrem Widerlager zu einem gemeinfchaftlichen Gewölbftücke zufammen und zweigen fich erft von diefem Fufskörper aus nach oben hin von einander ab.

Fig. 557.



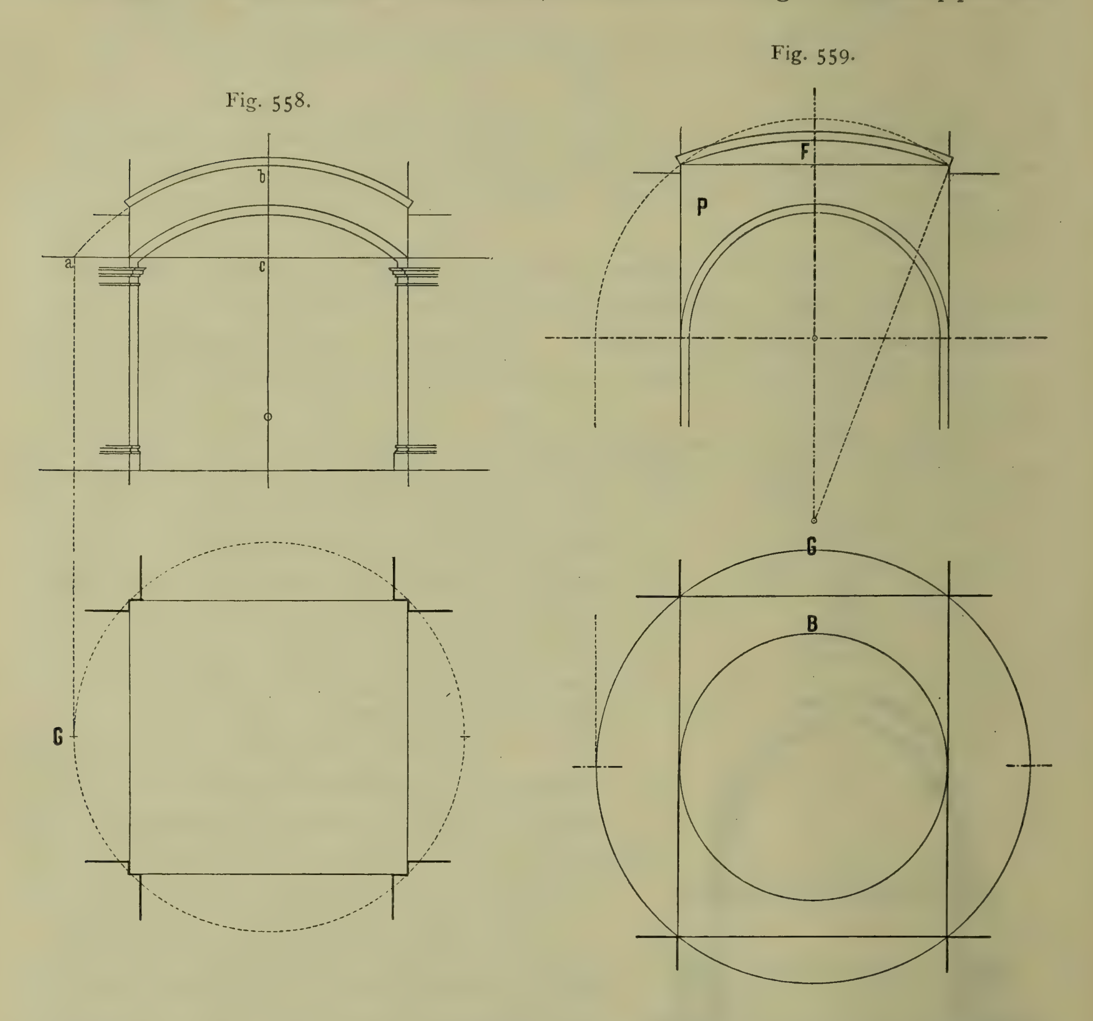
Ein hervorragendes Bauwerk einer Doppelkuppel mit Pendentifs, Tambour und Laterne ift die bekannte Kuppel der *Peters*-Kirche in Rom (Fig. 557). Die gleichfalls berühmte Doppelkuppel des Domes zu Florenz ift ihrer Geftaltung nach, wie aus dem in Art. 204 (S. 302) Gefagten näher gefolgert werden kann, als eine dem Kloftergewölbe angehörende Haubenkuppel oder Walmkuppel mit Tambour und Laterne anzufehen.

359. Flachkuppel.

Ift die Erzeugende der Laibungsfläche des Kuppelgewölbes irgend ein Flachbogen *ab* (Fig. 558), fo entfteht die einfache Flach-

kuppel, welche fpäter als fog. böhmifches Kappengewölbe noch einer näheren Befprechung zu unterziehen ift.

Der Grundkreis *G* der Flachkuppel geht bei quadratifcher, rechteckiger oder vieleckiger Grundrifsbildung durch die Ecken der Grundrifsfigur. Nach dem Feftftellen der Laibungsfläche der Flachkuppel ift das Austragen ihrer Anfchlufslinien, d. h. der Stirnlinien der Flachkuppel, fo weit diefelben für die Seitenebenen des zu überdeckenden Raumes in Betracht kommen, leicht zu bewirken. Setzt man eine Flachkuppel *F* auf Pendentifs *P* (Fig. 559), fo tritt in der fog. Flachkuppel mit



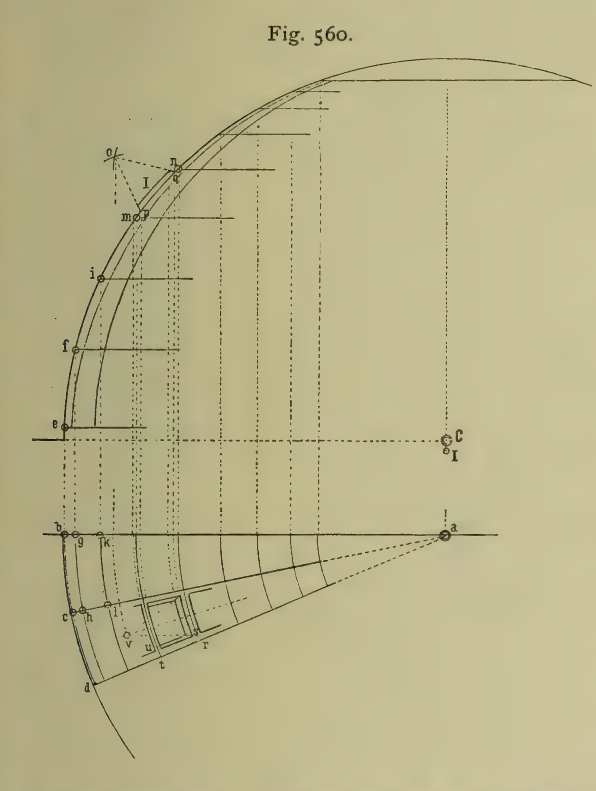
Pendentifs nur eine geringe Umgeftaltung des in Art. 354 (S. 506) bezeichneten zweiten Syftems der Hängekuppel ein. Die Kuppelfläche mit den Pendentifs *P* befitzt neben ihrem befonderen Grundkreife *G* eine andere Erzeugende, als die Flachkuppel mit dem felbftändigen Grundkreife *B*. Diefer liegt ftets innerhalb der Grundrifsfläche des zu überwölbenden Raumes, berührt dabei ihre Seiten oder erhält einen gröfseren oder geringeren Abftand von denfelben.

Die häufig fehr niedrig gehaltene, tellerförmig geftaltete Flachkuppel (Teller, Nabel, Calotte) wird oft vortheilhaft von den Pendentifs der Unterkuppel durch ein ringförmig geführtes Gefims getrennt.

Die Laibungsfläche des Kuppelgewölbes kann in mannigfaltigſter Weiſe durch Malerei, Stuck, vortretende Rippen u. ſ. w. verziert werden. Vielfach erfolgen Ausſtattung und Gliederung der Laibung der Kuppelgewölbe durch die ſchon beim Tonnengewölbe in Art. 163 (S. 234) erwähnten Caſſetten. Dieſelben können mit ihren Stegen die wechſelvollſten Formen annehmen, dabei beſonders geordnete, neben einander liegende oder mit einander verſchlungene Felder bilden und in mancherlei Weiſe mit Gliederungen, Roſetten, Arabesken, figürlichen Darſtellungen in einfacher oder reicher Ausſtattung verſehen werden. In der Nähe des Scheitels des Kuppelgewölbes läſſt man zur Vermeidung der hier zu klein erſcheinenden Caſſetten den ſog. Spiegel oder Nabel der Kuppel meiſtens ohne Caſſettentheilung. Je nachdem der Scheitel des Gewölbes mit einem Deckenlicht verſehen wird oder ſeine urſprüngliche Gewölbebildung behält, iſt eine entſprechende Ausſchmückung des Gewölbſpiegels vorzunehmen.

360. Caſſettirte Kuppelgewölbe.

Fig. 560.



Für die Anordnung der Caſſetten ſollen einige Grundlagen mitgetheilt werden, welche im Allgemeinen die möglichſte Einfachheit bewahren.

361. Caſſetten-Anordnung: I. Verfahren.

Das zeichneriſche Ausmitteln der Caſſetten mit den trennenden Stegen kann nach Fig. 560 auf folgendem, ſehr einfachem Wege vorgenommen werden.

Auf dem Grundkreiſe oder der Kämpferlinie bd der Laibungsfläche des Kuppelgewölbes beſtimmt man gleiche Theilweiten bc, cd u. ſ. f. und ſetzt die nach den Theilpunkten b, c, d u. ſ. f. gezogenen Halbmeſſer ab, ac, ad u. ſ. f. als wagrechte Projectionen der Mittellinien der nach dem Scheitel der Kuppel aufſteigenden Stege feſt. Soll den Caſſetten eine nahezu quadratiſche Form gegeben werden, ſo trägt man auf der Erzeugenden der Kuppel, welche hier als ein um C beſchriebener Viertelkreis mit dem Halbmeſſer ab gewählt, zugleich die lothrechte Projection der Mittellinie des Stegs ab iſt, unter Beachtung einer paſſenden Entfernung über die Kämpferebene des Gewölbes, z. B. von e aus, die Theilweite bc des Grundkreiſes bd als ef ab. Hierauf ermittelt man die Grundriſs-Projection des Punktes f auf ab in g und beſchreibt um a mit dem Halbmeſſer ag einen Kreis. Derſelbe giebt die Grundriſs-Projection der Mittellinie des erſten, concentriſch mit der Kämpferlinie der Kuppel ziehenden Caſſettenſteges. Seine Schnitte g, h mit den Steglinien ab, ac u. ſ. f. ſind die oberen Eckpunkte der Theilriſſe der erſten Caſſettenreihe. Die unteren Eckpunkte der Theilriſſe dieſer Reihe erhält man nach Ermitteln der Grundriſs-Projection des Punktes e auf ab. Die Schnitte des Kreiſes, welcher durch dieſe Grundriſs-Projection beſtimmt und in der Zeichnung punktirt dargeſtellt iſt, mit den Geraden ab, ac u. ſ. f., ſind die geſuchten Endpunkte.

Liegt bei einer ſog. Ueberhöhung der Kuppel die Kämpferebene unter C, ſo erhält die Caſſettenanlage in Folge der günſtigen Annahme des Punktes e in zweckmäſsiger Weiſe einen entſprechend hohen Sockel. Hierdurch iſt ſelbſt bei einem kräftig ausladenden Kämpfergeſims die untere Caſſettenreihe noch deutlich und vollſtändig vom Fuſsboden des überwölbten Raumes aus zu erkennen.

Für die Theillinien der zweiten Caſſettenreihe wird die Weite $gh = fi$ auf der Erzeugenden abgetragen und nunmehr wiederum ganz im Sinne des für das Ausmitteln des erſten Caſſettenzuges Geſagten verfahren. Auf dem beſchriebenen Wege erhält man nach und nach die ſämmtlichen Netzlinien für die Caſſetten.

Sollen über Ecke geftellte oder vieleckig begrenzte Caffetten angewendet werden, fo kann das foeben befprochene Netz als Hauptnetz für das Einzeichnen der Theillinien beliebig geformter Caffetten leicht benutzt werden.

Die Stege zwifchen den auffteigenden Caffettenreihen treten vom Caffettenfockel bis zum Kuppelfpiegel mit ftetig verjüngter Breite auf. Ihre Grenzlinien find Meridianbogen der Kuppelfläche. Setzt man die gewünfchte Breite diefer Stege unter Beachtung der Mittellinien des Hauptnetzes im Grundriffe am Sockel der Caffettenreihen feft, fo ergeben fich durch Ziehen der zugehörigen Halbmeffer die wagrechten Projectionen der Seitenlinien, wie z. B. *s u*, der auffteigenden Stege.

Die Breite der fämmtlichen Querftege der Caffetten wird in der Grundrifs-Projection meiftens gleich grofs genommen. In der Aufrifs-Projection zeigen fich diefe Querftege dann in Abfchnitten auf der Erzeugenden vom Sockel der Caffettenanlage bis zum Spiegel der Kuppel in verjüngter Breite.

Die zeichnerifche Darftellung der Stege ift aus Fig. 560 ohne Weiteres zu entnehmen. Die Caffetten follen Vertiefungen im Kuppelgewölbe bilden. Zweckmäfsig ift die Vertiefung bei den gröfseren Caffetten beträchtlicher, als bei den ftetig kleiner werdenden Caffetten. Zum Herbeiführen einer möglichft gefetzmäfsig und nicht zu fchroff erfolgenden Abnahme der Vertiefung der auffteigenden Caffettenzüge bildet man die Vertiefungen nach Pyramiden wie *p q o*, deren Spitze *o* in der Ebene der Erzeugenden der Kuppelfläche die Spitze eines gleichfchenkeligen Dreieckes ift. Die Länge der Schenkel *p o* und *q o* folcher Dreiecke ift jedesmal der Theilweite *m n* der zugehörigen Caffette gleich, während die Endpunkte der Grundlinie diefer einzelnen Dreiecke die inneren Punkte *p* und *q* der Querftege find. Die innere Abfchlufsfläche der Caffetten wird durch Stücke einer Kuppelfläche erhalten, welcher eine befondere, in der Form von der gewählten erzeugenden Curve der eigentlichen Laibungsfläche etwas abweichende Erzeugende gegeben wird. Sie erhält für die unteren Caffettenreihen einen gröfseren Abftand von der Haupterzeugenden der Kuppel, als für die oberen Caffettenreihen. Ihre Wahl richtet fich nach der Tiefe, welche man den Caffetten unmittelbar über dem Caffettenfockel und vor dem Kuppelfpiegel geben will. In der Zeichnung ift auf der Kuppelaxe der unterhalb *C* gelegene Punkt *I* als Mittelpunkt eines Kreisbogens gewählt, welcher mit dem die Tiefe der Caffetten feft legenden Halbmeffer befchrieben, offenbar das ftetige Wachfen der Vertiefungen der Caffetten vom Kuppelfpiegel bis zum Caffettenfockel bedingt. Für eine Caffette über *pq* ift ein Stück *I* diefes Bogens gezeichnet.

Ift für eine auffteigende Caffettenreihe die Spitze *o* der zugehörigen Pyramide, ift aufserdem die Abfchlufslinie *I* der einzelnen Caffetten durch die Aufrifs-Projection in einer Meridianebene beftimmt, fo laffen fich die wagrechten Projectionen der einzelnen Caffetten finden. Für die Caffette über *pq* ift *v* die wagrechte Projection der Pyramidenfpitze *o*. Mit Benutzung des Punktes *v* und der Aufrifs-Projectionen der Caffette *pq* wird, wie aus der Zeichnung unmittelbar zu erkennen ift, die Darftellung des Grundriffes der Caffetten leicht ermöglicht.

Sollen die Caffetten ftaffelartig angelegte Umrahmungen erhalten, fo ift das für die Ausmittelung der Caffetten angegebene Verfahren nur der Zahl der Staffeln entfprechend oft zu wiederholen.

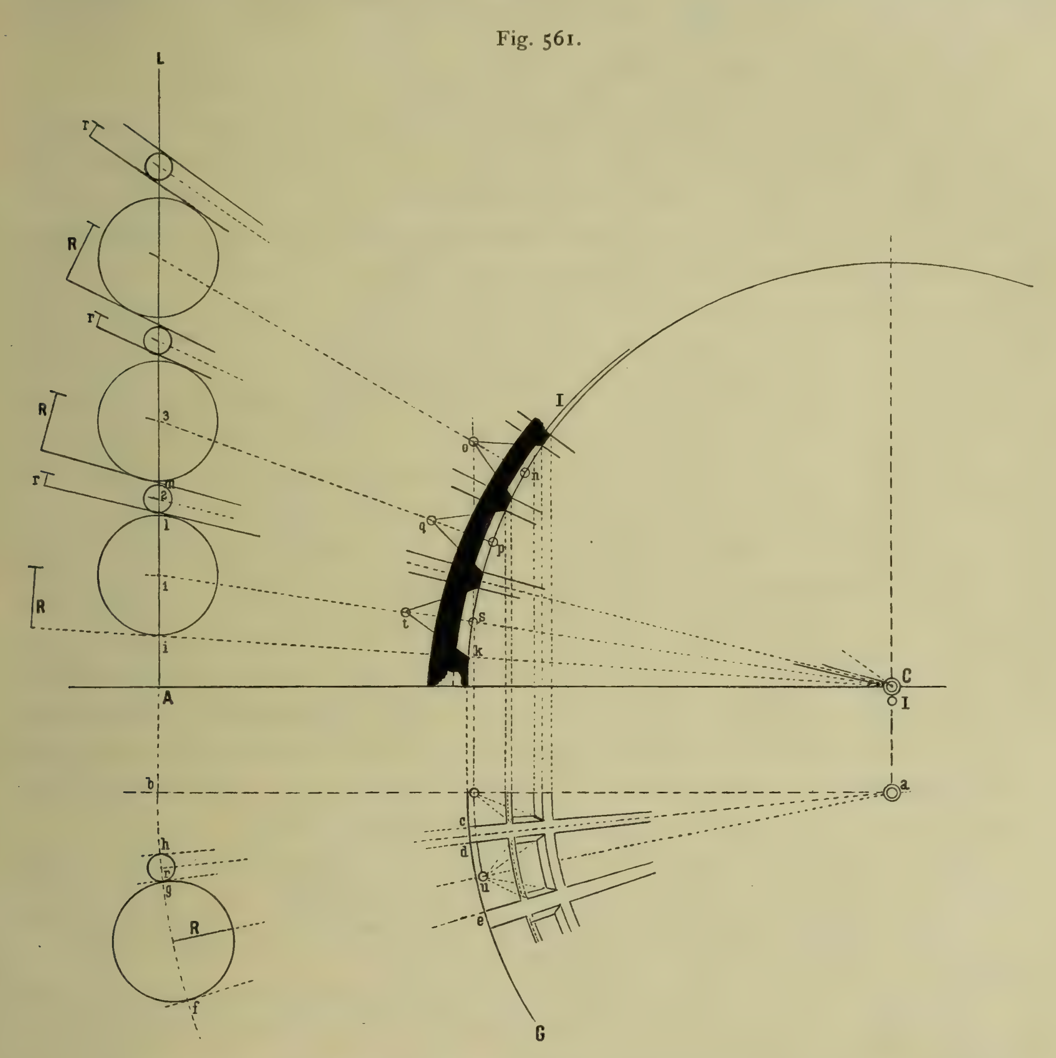
362. II. Verfahren.

Ein zweites Verfahren für die Geftaltung der Caffetten mit ihren Stegen ift unter der Bezeichnung »*Emy*'fches Verfahren« bekannt. Hierbei wird nach Fig. 561 der Kreis *G* der oberen Kante *k* des Caffettenfockels als Theilkreis für die Weiten *ed*

der unteren Caſſettenreihe und der Breiten *cd* des Fuſses der Stege zu Grunde gelegt. Die Meridianſchnitte *ac*, *ad*, *ae* u. ſ. f. beſtimmen die Begrenzungen der Caſſettenreihen.

Für die Aufriſſe der Caſſetten und Stege auf der Erzeugenden der Kuppel, welche hier als ein um *C* beſchriebener Viertelkreis angenommen iſt, werden Hilfskreiſe mit dem Halbmeſſer *R* für die Caſſetten und dem Halbmeſſer *r* für die Stege benutzt, welche mit den Theilbreiten *de* und *cd* des Theilkreiſes *G* in Abhängigkeit gebracht werden. Hierzu beſchreibt man im Grundriſſe mit dem beliebigen, entſprechend groſs gewählten Halbmeſſer *ab* um *a* den Kreisbogen *bf* und erweitert die Strahlen *ac*, *ad*, *ae* bis zu ihren Schnitten *h*, *g*, *f* mit dem Kreisbogen *bf*. Die Linien *ah* und *ag* ſollen Tangenten des kleinen Kreiſes mit den Berührungspunkten *h* und *g* werden.

Fig. 561.



Der Schnitt der hier nicht gezeichneten Lothe in *h* auf *ah* und in *g* auf *ag* beſtimmt den Mittelpunkt dieſes Kreiſes und die Gröſse ſeines Halbmeſſers *r*. Auſserdem ſollen die Linien *ag* und *af* Tangenten des groſsen Kreiſes mit den Berührungspunkten *g* und *f* werden. Lothe in *g* auf *ag* und in *f* auf *af* ſchneiden ſich im Mittelpunkte des geſuchten Kreiſes, wonach alsdann die Gröſse des Halbmeſſers *R* zu beſtimmen iſt.

Für den Aufriſs wird in der Meridianebene *CA* der Kuppel die Länge *CA* = *ab* abgetragen und in *A* auf *CA* das Loth *AL* errichtet. Durch den gegebenen, in der oberen Sockelkante der Caſſettenreihen liegenden Punkt *k* wird die entſprechend verlängerte Gerade *Ci* gezogen. Das auf *Ci* an beliebiger Stelle errichtete Loth *R* erhält die Länge des Halbmeſſers *R* des für die Caſſettenbreite feſt geſtellten Hilfskreiſes *gf*. Zieht man durch den Endpunkt des Lothes *R* die Parallele zu *Ci*, ſo trifft

diefelbe die Gerade AL im Punkte 1. Der um 1 mit dem Halbmeffer R befchriebene Kreis wird für die Höhe der erften Caffettenreihe mafsgebend. Die verlängerte Gerade Ck ift aus Gründen, welche, wie leicht erfichtlich, durch die Zeichnung an und für fich bedingt find, eine Tangente des Kreifes. Zieht man von C aus eine zweite Tangente Cl diefes Kreifes, fo wird die Höhe der erften Caffettenreihe auf der Kuppelerzeugenden erhalten.

Zum Feftlegen der nun folgenden Steghöhe wird wiederum in einem beliebigen Punkte der Tangente Cl das Loth r von der Länge des Halbmeffers r des für die Stege ermittelten Hilfskreifes hg errichtet und durch den Endpunkt diefes Lothes eine Parallele zu Cl gezogen, um im Schnitte 2 diefer Parallelen mit AL den Mittelpunkt des für die Steghöhe mafsgebenden Kreifes mit dem Halbmeffer r zu erhalten. Eine von C aus an diefen Kreis gezogene Tangente Cm fchneidet die gefuchte Steghöhe auf der Kuppelerzeugenden ab.

Setzt man die Beftimmung aller folgenden Caffetten- und Steghöhen in gleicher Weife fort, fo find alle Grundlagen für die Vollendung des Gefammtnetzes der Caffetten-Anordnung gefchaffen.

Beim *Emy*'fchen Verfahren tritt eine ftetige Abnahme der Höhen- und Breitenabmeffungen, fowohl der Caffetten felbft, als auch der auffteigenden Stege und der Querftege, wie aus Fig. 561 erkannt werden kann, ein. Die Vertiefungen der Caffetten können genau nach den im vorhergehenden Artikel gemachten Mittheilungen unter der Annahme von Hilfspyramiden mit den Spitzen o, q u. f. f. und unter Einführung einer Hilfserzeugenden I beftimmt werden. Bei ftaffelartig vertieften Caffetten ift einfach eine Wiederholung des gefchilderten *Emy*'fchen Verfahrens erforderlich.

363. III. Verfahren.

Wenn gleich nach den beiden, im Vorhergegangenen befprochenen Anordnungen der Caffetten Anhaltspunkte geboten find, welche in den verfchiedenften Fällen bei der Ausftattung der Laibungsflächen der Kuppelgewölbe durch Füllungen mit reicher oder einfacher Form zu Grunde gelegt werden können, fo darf doch nicht unerwähnt bleiben, dafs die gegebenen, ziemlich einfachen Darftellungen ihrem Wefen nach etwas gekünftelt erfcheinen. Weit unbefangener und auch dem natürlichen Wege, welchen die Ausftattung der Laibungsfläche des Kuppelgewölbes an fich zeigt, mehr entfprechend, ift allgemein der Anordnung der Caffetten nahe zu treten, indem man im Sinne der darftellenden Geometrie die Abwickelung der meiftens fchmalen Meridianftreifen, welche die Caffetten und Stege enthalten, oder eine fonft gewünfchte Ausfchmückung aufnehmen follen, vornimmt. Die abgewickelten Flächenftücke können alsdann einzeln oder, unter Umftänden bei zufammenhängendem Schmuck in fachgemäfse Verbindung gebracht, für das Einzeichnen der beabfichtigten Ausftattung der Laibungsfläche des Kuppelgewölbes benutzt werden.

Die entworfene Zeichnung ift dann rückläufig in den Grundrifs, bezw. in den Aufrifs mit Hilfe einer Schaar von Meridianlinien zu übertragen.

Diefe allgemeine Anordnung zeigt Fig. 562 zunächft für die Anordnung von Caffetten mit nahezu quadratifcher Form.

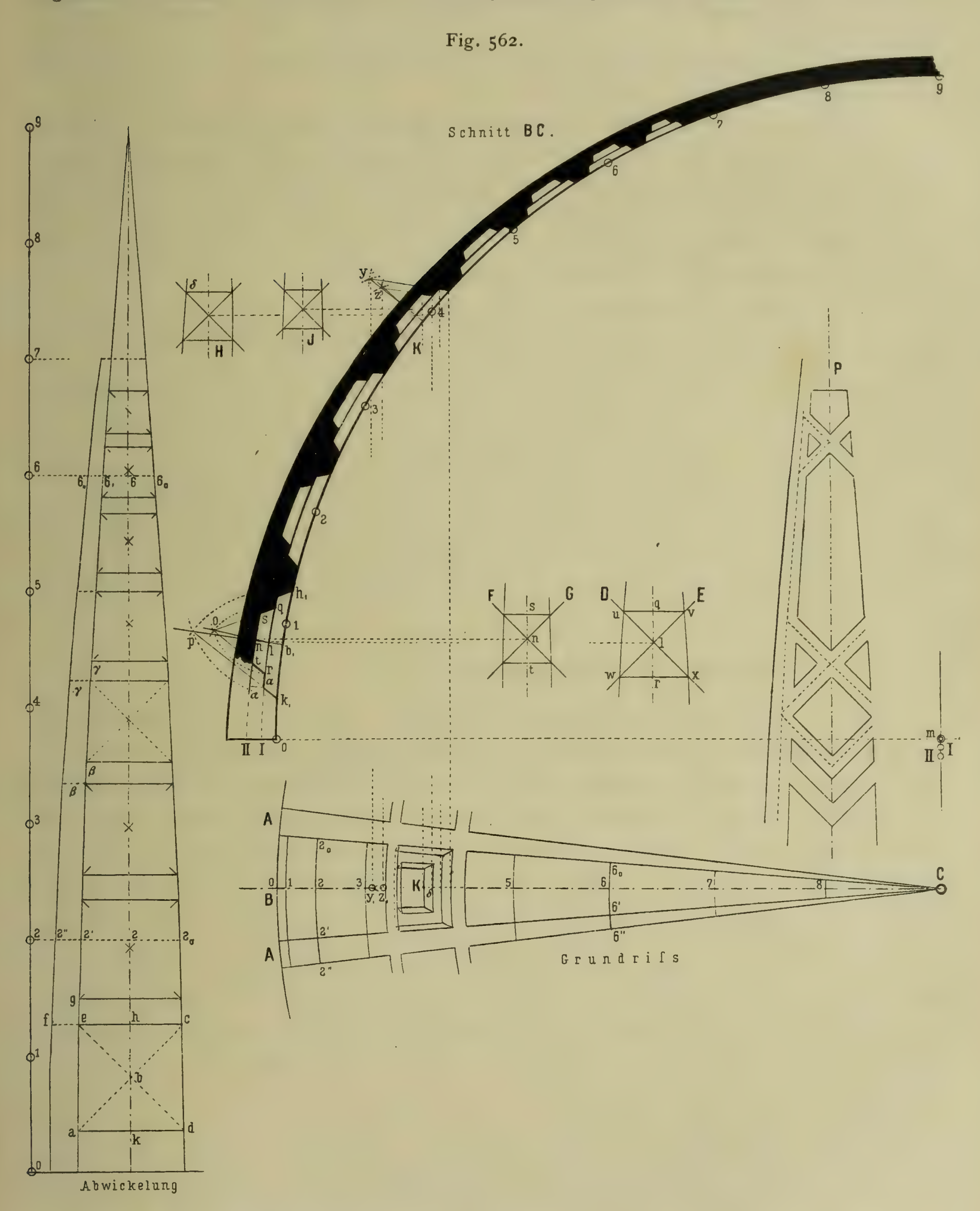
Im Grundriffe ift B der Meridianftreifen der Caffetten und A der Meridianftreifen des auffteigenden Steges. Im Schnitte BC ift der um m mit dem Halbmeffer $mo = Co$ befchriebene Viertelkreis $o9$ die Erzeugende des Kuppelgewölbes.

Der Viertelkreis $o9$ ift in 9 gleiche Theile getheilt. Im Plane der Abwickelung find die Erftreckungen $o1$, 12 u. f. f. gleich den Bogenlängen $o1$, 12 u. f. f. auf der lothrechten Linie $o9$ abgetragen.

Durch die Punkte o, 1, 2 u. f. f. gezogene Wagrechte müffen bei der durch k lothrecht gelegten Erftreckung der Meridianlinie über Co des Grundriffes die erftreckten Bogenlängen der durch $o, 1, 2$ u. f. f. um C im Grundriffe befchriebenen Bogen der Parallelkreife der Kuppelfläche je zur Hälfte nach links und rechts von der Linie k aus, fo weit dabei die Meridianftreifen A und B in Betracht kommen, aufnehmen. So ift z. B. bei der durch 2 angenommenen wagrechten Linie $2\,2_0 = 2\,2_{,}$ gleich der Erftreckung der Bogenlänge $2\,2_0 = 2\,2_{,}$ im Grundriffe für den Meridianftreifen B. Eben fo ift hier für den Meridianftreifen A die Länge $2_{,}\,2_{,,}$ gleich der erftreckten Bogenlänge $2_{,}\,2_{,,}$ im Grundriffe. In gleicher Weife ift noch bei der wagrechten Linie $6\,6_0$ in der Abwickelung und dem Bogen $6_0\,6_{,,}$ im Grundriffe verfahren.

Iſt die Abwickelung der Meridianſtreifen *B* und *A* vollſtändig gezeichnet, ſo kann das Eintragen der unteren und oberen Seitenlinien der Caſſetten in folgender Weiſe geſchehen. In der Höhe *k* der Abwickelung über dem Fuſse *o* des Kuppelgewölbes iſt *a d* als erſte untere Caſſettenlinie feſt gelegt. Von *a* und *d* aus ſind unter einem Winkel von 45 Grad zu *a d* die Linien *a c* und *d e* gezogen. Die Wagrechte *e c* beſtimmt die obere Linie der nahezu quadratiſch geformten Caſſette.

Fig. 562.



Um die Breite des nun folgenden Querſteges zu erhalten, iſt die Gerade *e c* bis zur Abwickelungslinie des Meridianſtreifens für den aufſteigenden Steg nach *f* zu führen und in *f* eine Linie *f g* unter 45 Grad zu *c f* zu ziehen. Die durch *g* gelegte Wagrechte giebt die untere Seite der zweiten Caſſettenreihe. Auf dieſem Wege ſchreitet man nach und nach vor, um, wie aus dem Plane der Abwickelung

genau zu verfolgen ift, die Caffetten- und Steganlage vollftändig in der Abwickelung zur Darftellung zu bringen.

Das Zurückführen der unteren und oberen Seitenlinien der Caffetten auf die Gewölbfläche wird mittels der Erzeugenden *o 9* im Schnitte *B C* vorgenommen. Hier ift z. B. die Bogenlänge $k_1 b_1$ durch Benutzung kleiner Theilftrecken der Länge *k b* gleich der Erftreckung *k b* der Abwickelung abzutragen. Eben fo ift die Bogenlänge $b_1 h_1$ fo abzumeffen, dafs diefelbe der Erftreckung *b h* gleich wird. Gleiches gilt für die Stegbreiten.

Sind alle Caffettenhöhen hiernach auf *o 9* im Schnitte *B C* beftimmt, fo find die Grundrifs-Projectionen leicht anzugeben.

Sollte etwa, wie im Plane *P* ausgeführt ift, eine befonders geformte Caffetten-anlage Platz greifen, fo ift ihr Entwurf auf dem zugehörigen abgewickelten Meridian-ftreifen vorzunehmen und alsdann unter Einfügung von Parallelkreifen und Meridian-kreifen in die Aufrifs- und Grundrifs-Projection der Kuppelfläche forgfam zu über-tragen. Die Vertiefungen der Caffetten werden wiederum mittels Hilfspyramiden ganz in der hinlänglich befprochenen Weife feft geftellt.

In der Zeichnung find ftaffelförmige Caffetten dargeftellt. Defshalb wurden für jede Caffette, wie bei *K*, bezw. $k_1 h_1$, zwei Hilfspyramiden in Anwendung gebracht. Die hierfür erforderlichen Aufrifs- und Grundrifs-Projectionen können nach den Angaben der Zeichnung leicht erkannt werden.

Hierbei ift nur zu beachten, dafs für die inneren beiden Flächen der ftaffelförmigen Caffetten die um *I* und *II* befchriebenen beiden Hilfserzeugenden *I* und *II* zu berückfichtigen find. Die abgewickelten inneren Flächen, wie z. B. *D E* und *F G* für die Caffette $k_1 h_1$ oder *H* und *J* für die Caffette *K*, find bei der angenommenen ftaffelförmigen Anordnung unter Benutzung der Erzeugenden *I* und *II* zu zeichnen.

Eine befondere, fchief angefchnittene und ftark unterfchnittene, dreifach geftaffelte Caffetten-Anordnung ift bei der kreisrunden Kuppel des Pantheon in Rom zu bemerken. Näheres hierüber, begleitet von kritifchen, fehr zu würdigenden Erörterungen ift in Theil II, Band 2 diefes »Handbuches« zu finden, worauf hier hingewiefen werden kann.

b) Stärke der Kuppelgewölbe und ihrer Widerlager.

364. Stabilität der Kuppelgewölbe.

Bei der Befprechung der Stabilität der bufigen Kappen der gothifchen Kreuz-gewölbe ift bereits in Art. 315 bis 322 (S. 460 bis 469) eine Gruppe von Grund-lagen mitgetheilt, welche geradezu bei der Prüfung der Stabilität der Kuppelgewölbe ohne Weiteres wieder zu benutzen find. Diefe Grundlagen folgen dem Principe des kleinften Widerftandes, welches *Scheffler*[188]) bewiefen hat. Hier erübrigt nur noch, unter Benutzung der foeben erwähnten, bei der Prüfung der Stabilität der bufigen Kappen des gothifchen Kreuzgewölbes gemachten Mittheilungen, den Gang der Stabilitäts-Unterfuchung des Kuppelgewölbes näher zu erläutern.

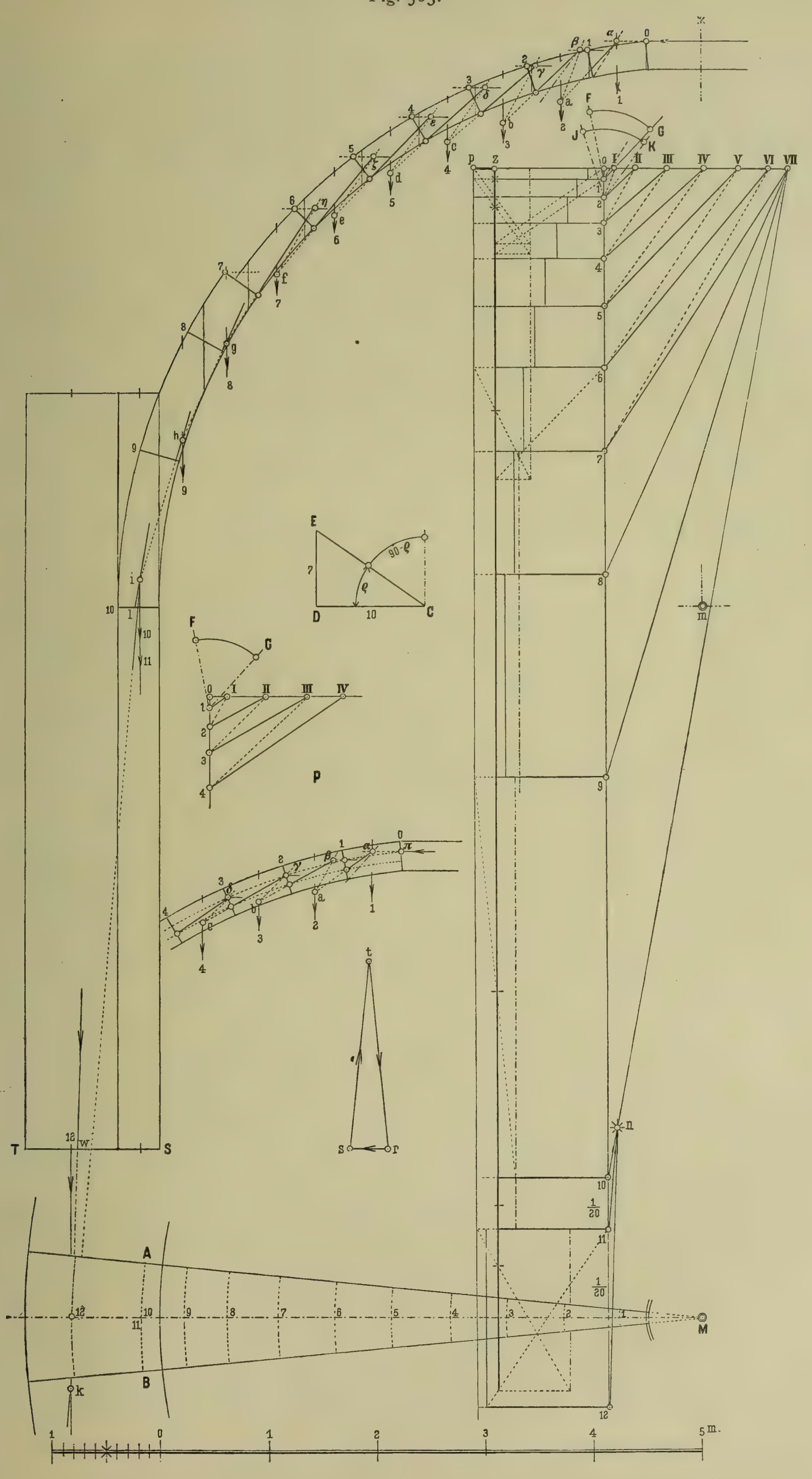
In Fig. 563 ift ein Kuppelgewölbe aus Backfteinmaterial von 10 m Durchmeffer ftatifch unterfucht. Die Erzeugende der Kuppelfläche ift als Viertelkreis gewählt. Im Scheitel des Gewölbes bleibt eine Lichtöffnung von 1 m Durchmeffer. Die Stärke des Gewölbes ift vorläufig im Scheitel zu 0,25 m, am Gewölbfufse *l* zu 0,38 m an-genommen.

Aus der Kuppel ift der Meridianftreifen mit der wagrechten Projection *M A B*, deffen mittlere Dicke *A B* in der Widerlagsfuge *10* des Gewölbes 1 m beträgt, entnommen. Der nach der lothrechten Ebene *M 10* geführte Schnitt des Meridianftreifens ift im Aufrifs dargeftellt. Diefe lothrechte Ebene ift Kräfteebene. Die Bogenfläche *o* bis *10* des Gewölbkörpers ift in 10 Theilftreifen zerlegt und für jede Theillinie nach den in Art. 143 (S. 200) gegebenen Ausführungen die zugehörige, nach *m* gerichtete Wölbfuge eingezeichnet.

---

188) Siehe: SCHEFFLER, H. Die Hydraulik auf neuen Grundlagen. Leipzig 1891.

Fig. 563.



Bei der verhältnifsmäfsig geringen Breite der durch lothrechte Theillinien begrenzten Theilftreifen kann ihr Schwerpunkt als in ihrer Mittellinie liegend angenommen werden. Ift das Kuppelgewölbe im Scheitel gefchloffen, fo ift das erfte obere Theilftück als keilförmiger Körper zu behandeln und fein Schwerpunkt danach zu beftimmen. Die Lage der Geraden, worin die Gewichte *1*, *2* u. f. f. der den Theilftreifen zugewiefenen Gewölbkörper wirken, ift hierdurch bekannt. Die Abfchnitte diefer Gewichtslinien innerhalb der Bogenfläche beftimmen meiftens auch die mittlere Höhe der einzelnen Gewölbkörper. Die Fufspunkte *1*, *2* bis *10* der Gewichtslinien auf *M 10* im Grundriffe *MAB* des Meridianftreifens dienen alsdann gleichfalls zur Angabe der mittleren Dicke der Gewölbekörper.

Die um *M* mit den Halbmeffern *M1*, *M2* u. f. f. zwifchen *MA* und *MB* befchriebenen Kreisbogen ergeben diefe mittleren Dicken.

Nach der freien Wahl der fog. Bafis $pz = 0{,}2^{\mathrm{m}}$ und der Annahme der Strecke $zo = 1^{\mathrm{m}}$ ift genau nach den Erörterungen in Art. 249 (S. 363) die Gröfse der Körperinhalte, bezw. der Gewichte der Theilftücke in der im Plane bei *m* gezeichneten Strecke *o* bis *10* dargeftellt.

Unter Verwendung diefes Gewichtsplanes ift nunmehr, im vollften Einklange mit dem in Art. 315 bis 321 (S. 460 bis 467) Vorgetragenen, die ftatifche Unterfuchung des Meridianftreifens des Kuppelgewölbes anzuftellen. Hierbei fei die Gröfse des Reibungswinkels ρ des Materials durch $\operatorname{tg} \rho = 0{,}7$ gegeben und als Winkel *DCE* aufgetragen.

Der erfte Wölbftein des oben offenen Gewölbes befitzt die Gewichtslinie *1* und das Gewicht gleich der Strecke *o 1*.

Die durch den höchften Punkt *o* des Rückens diefes Steines geführte Wagrechte giebt mit der Gewichtslinie *1* den Schnitt α.

Die Fuge *1* wird von der Gewichtslinie *1* nicht getroffen. Die Mittelkraft der Seitenpreffungen des erften, höchften Kranzfteines wirkt in der durch *o* geführten wagrechten Linie $o\alpha$. Soll diefe Mittelkraft für den Gleichgewichtszuftand gegen Drehen und Gleiten einen möglich kleinften Werth annehmen, fo ift ihre Gröfse *Io* im Kräfteplane unter Beachtung des in Art. 318 (S. 463) Gefagten zu beftimmen.

Die durch α und den tiefften Punkt der Fuge *1* punktirt gezogene Linie giebt die Lage der Refultirenden, welche aus dem Gewichte *1* des erften Kranzfteines und der noch unbekannten in $o\alpha$ wirkenden Mittelkraft der Seitenpreffungen diefes Kranzfteines entftehen mufs, wenn eben noch der Gleichgewichtszuftand gegen Drehung des Kranzfteines um die untere Kante der Fuge *1* vorhanden fein foll. Diefe Refultirende fchliefst jedoch mit der Normalen zur Fugenrichtung *1*, wie fich aus dem Kräfteplane ergiebt, einen gröfseren Winkel ein, als der feft gefetzte Reibungswinkel ρ zuläfft.

Alsdann zieht man im Gewichts- oder Kräfteplane durch den Endpunkt *1* der Gewichtsftrecke *o 1* des erften Kranzfteines die Gerade *1 F* parallel zur Fugenrichtung *1*, und verwendet man nunmehr nach den in Art. 317 (S. 463) gegebenen Ausführungen fofort den Winkel $F 1 G = 90 - \rho$, fo fchneidet der Schenkel *1 G* eine Kraftftrecke *Io* als Mittelkraft der Seitenpreffungen des erften Kranzfteines ab, welche gröfser ift, als die vorhin bei der Prüfung des Gleichgewichtszuftandes gegen Drehen entftehende Mittelkraft jener Preffungen. Der parallel zu *G 1* durch α im Meridianfchnitte gezogene Strahl αa trifft die Fuge *1* innerhalb der Schnittfläche des Gewölbes; mithin ift *Io* der möglich kleinfte Werth der Mittelkraft der Seitenpreffungen des erften Kranzfteines, welche wach gerufen werden, um diefen Kranzftein im Gleichgewicht gegen Drehen und gegen Gleiten zu erhalten.

Setzt man die in αa thätige Refultirende *I 1* der Seitenkräfte *Io* und *o 1* mit dem Gewichte *1 2* des zweiten Kranzfteines im Gewichtsplane zu der Refultirenden *I 2* zufammen; zieht man, da diefe Refultirende im Gewölbplane durch den Schnitt *a* der in αa wirkenden Refultirenden des erften Kranzfteines mit der Gewichtslinie *2* des zweiten Kranzfteines gehen mufs, die Parallele $a\beta$ zu *I 2* — fo erkennt man, dafs diefe in βa wirkende Mittelkraft *I 2* die Fuge *2* innerhalb des Gewölbfchnittes gar nicht trifft. Defshalb mufs zum Herftellen des Gleichgewichtszuftandes des zweiten Kranzfteines gegen Drehen und gegen Gleiten wiederum eine Zufatzkraft thätig werden, die als Mittelkraft der Seitenpreffungen des zweiten Kranzfteines zur Annahme eines möglich kleinften Werthes zunächft durch den oberen Punkt *1* der Fuge *1* geht und ihren Angriffspunkt im Schnitte β der in $\beta\alpha$ wirkenden Refultirenden *I 2* mit der durch *1* geführten wagrechten Linie 1β erhält.

Sodann mufs die zu beftimmende, in 1β wirkende Mittelkraft der Seitenpreffungen des zweiten Kranzfteines eben Gleichgewicht gegen Drehen und gegen Gleiten bewirken können.

Für das Gleichgewicht gegen Drehen wird diefe Mittelkraft am kleinften, fobald die Refultirende aus *I 2* und diefer noch unbekannten Mittelkraft in der Richtung βb durch den tiefften Punkt der Fuge *2* geht. Zieht man im Gewichtsplane *2 II* parallel zu βb, fo ift *II I* die für den Gleichgewichtszuftand gegen Drehen des zweiten Kranzfteines erforderliche möglich kleinfte Mittelkraft der zugehörigen Seitenpreffungen.

Für das Gleichgewicht gegen Gleiten ift diefe Mittelkraft aber fo zu beftimmen, dafs die Richtung der Refultirenden aus der Kraft *I 2* und diefer noch unbekannten Mittelkraft mit der Normalen zur Fugenrichtung *2* keinen den Reibungswinkel ρ überfchreitenden Winkel einfchliefst.

Zieht man durch den Punkt *2* im Gewichtsplane die Gerade *2 J* parallel zur Fugenrichtung *2* und verwendet man in bekannter Weife den Winkel $J 2 K = 90 - \rho$, fo ergiebt fich, dafs die durch β parallel mit *2 K* geführte Gerade die Bogenfläche des Gewölbes innerhalb der Fuge *2* nicht trifft, dafs daher zum Feftfetzen der Mittelkraft der Seitenpreffungen des zweiten Kranzfteines die Prüfung des Gleichgewichtszuftandes gegen Drehung allein hier fchon mafsgebend wird.

Für alle folgenden Fugen tritt eine Berückfichtigung des Reibungswinkels nicht mehr ein (vergl. Art. 322, S. 473 und Fig. 528).

Für die Fuge *3* kommt zunächft die in β*b* wirkende Refultirende *II 2* in Betracht. Diefelbe fetzt fich alsdann in *b* mit dem Gewichte *2 3* des dritten Kranzfteines zu einer Refultirenden *II 3* zufammen. Die Gerade γ*b* parallel zu *II 3* durch *b* im Gewölbplane geführt, giebt ihre Lage für die Bogenfläche des Gewölbes. Sie fchneidet die durch den oberen Punkt *2* der Fuge *2* gezogene Wagrechte in γ. Die durch γ und den tiefften Punkt der Fuge *3* geführte Gerade γ*c* bedingt die Lage der für das Gleichgewicht gegen Drehen des dritten Kranzfteines eintretenden Refultirenden, deren Seitenkräfte als *II 3* und als die noch zu beftimmende wagrechte Mittelkraft der Seitenpreffungen des dritten Kranzfteines fich geltend machen. Zieht man *3 III* im Gewichtsplane parallel zu γ*c*, fo ift *III II* die gefuchte Mittelkraft der Seitenpreffungen des dritten Kranzfteines.

Auf ganz gleichem Wege fährt man in der Zufammenfetzung der für die folgenden Kranzfteine in Frage kommenden Kräfte fort, um in den Strecken *IV III, V IV, VI V* und *VII VI* die Mittelkräfte der Seitenpreffungen für den 4., 5., 6. und 7. Kranzftein durch Zeichnung zu beftimmen. Für den 8. Kranzftein oberhalb der Fuge *8* kommt eine wagrechte Mittelkraft von Seitenpreffungen nicht mehr in Thätigkeit. Die in der Richtung η*g* bis zur Fuge *7* auftretende Refultirende *VII 7* fetzt fich in *g* mit dem Gewichte *7 8* des 8. Kranzfteines zu der Mittelkraft *VII 8* zufammen. Die durch *g* parallel zu *VII 8* geführte Gerade *g h* trifft bereits die Fuge *8* innerhalb der Bogenfläche, fo dafs fchon ohne Eintritt einer Mittelkraft von Seitenpreffungen in der durch den oberen Punkt *7* geführten Wagrechten für diefen Kranzftein Sicherung gegen Drehen vorhanden ift.

Das Gleiche gilt für den 9. und 10. Kranzftein.

Aus dem Kräfteplane ergiebt fich in *I 1*, *II 2* u. f. f. bis *VII 7*, *VII 8*, *VII 9* und *VII 10* der Reihe nach jedesmal der Druck auf die entfprechende Lagerfläche der Fugen *1*, *2* u. f. f. bis *7*, *8*, *9* und *10*.

Würden diefe refultirenden Drücke der Lagerfugenflächen über die äufseren, in der Rückenlinie des Meridianftreifens liegenden Fugenkanten hinausfallen oder mit der Normalen der zugehörigen Fuge von unten einen Winkel einfchliefsen, welcher gröfser als der Reibungswinkel ρ ift, fo ift das unterfuchte Kuppelgewölbe nicht ftandfähig, da im erften Falle kein Gleichgewicht gegen Drehen, im letzten Falle kein Gleichgewicht gegen Gleiten vorhanden ift.

Die Refultirende aller wagrechten Mittelkräfte der Seitenpreffungen der einzelnen Kranzfteine ift gleich der Summe diefer Mittelkräfte, alfo gleich der Strecke *VII o*. Sie giebt die Gröfse des wagrechten Schubes an, welcher vom Meridianftreifen des Kuppelgewölbes in der Widerlagsfuge *10* auf den Widerlagskörper übertragen wird.

Zu bemerken ift, dafs diefer refultirende wagrechte Schub feinen gröfsten Werth *VII o* bereits für die Fuge *7* erreicht hat. Die Fuge, welcher überhaupt der gröfste refultirende wagrechte Schub zunächft zu theil wird, heifst auch beim Kuppelgewölbe Bruchfuge oder Brechungsfuge. In der Zeichnung ift alfo Fuge *7* die Bruchfuge. Unterhalb der Bruchfuge müffen bei einem ftabilen Gewölbe die Angriffspunkte der einzelnen Lagerfugendrücke *gh* = *VII 8*, *h i* = *VII 9* und *i l* = *VII 10* für die zugehörigen Fugen *8*, *9* und *10*, wie hier der Fall ift, innerhalb der Bogenflächen bleiben.

Wird die Forderung erhoben, dafs fowohl die Angriffspunkte der Lagerfugendrücke, als auch die wagrechten Linien, worin die Mittelkräfte der Seitenpreffungen der einzelnen Kranzfteine wirken, das Gebiet des inneren Drittels der Bogenfläche des Meridianftreifens nicht verlaffen follen, fo kann, wie der Plan *P* in Fig. 563 fofort erkennen läfft, die Stabilitäts-Unterfuchung des Kuppelgewölbes unter Beachtung des Flächenftückes, welches dem inneren Drittel der Bogenfläche entfpricht, dem Wefen nach ganz fo vorgenommen werden, wie im Hauptplane gezeigt ift. Zugleich kann hierbei auf Art. 320 (S. 466) verwiefen werden.

365.
Stabilität
der
Widerlager.

In unmittelbarem Zufammenhange mit der ftatifchen Unterfuchung des Meridianftreifens kann die Prüfung der Stabilität des Widerlagers des Kuppelgewölbes in einfacher Weife durch Zeichnung vorgenommen werden.

Der in Fig. 563 im Grundriffe und Schnitte dargeftellte Widerlagskörper ift aus 2 Theilftreifen mit den Gewichten *11* und *12* gebildet. Die Gewichtsftrecken *10 11* des Theilkörpers *11* und *11 12* des Stückes *12* find im Gewichtsplane zur Vermeidung fehr langer Kräfteftrecken nur in $^1/_{20}$ ihrer fonft erforderlichen Längen aufgetragen.

Der in der Linie *il* auf die Widerlagsfuge gelangende Druck *VII 10* fetzt fich mit dem Gewichte *11* des unterhalb der Fuge *10* vorhandenen Widerlagstheiles zu einer durch den Schnitt *i* der Gewichtslinie *11* mit dem Strahle *il* gehenden Mittelkraft zufammen. Um diefe Mittelkraft zu beftimmen, mufs, da das Gewicht des Theilftreifens *11* in $^1/_{20}$ feiner Gröfse dargeftellt ift, auch die Kraftftrecke *VII 10* nur in $^1/_{20}$ ihrer Gröfse benutzt werden.

Die Strecke *n 10* ift $^1/_{20}$ der Strecke *VII 10*; mithin ift *n 11* die gefuchte Mittelkraft ebenfalls in $^1/_{20}$ ihrer Gröfse.

Zieht man die Gerade *ik* parallel zur Linie *n 11*, fo ergiebt fich in *ik* die Lage der fraglichen Mittelkraft. Sie trifft die Gewichtslinie *12* im Punkte *k*. Die Zufammenfetzung von *n 11* und *11 12* ergiebt die Mittelkraft *n 12*. Zieht man durch *k* die Gerade *wk* parallel zu *n 12*, fo ift im Strahle *wk* die Lage diefer Mittelkraft im Plane des Widerlagers beftimmt. Sie trifft die als feft vorausgefetzte Fufsebene *ST* des Widerlagskörpers im Punkte *w*. Da der Abftand *Tw* hier noch etwas gröfser als $^1/_3$ *ST* gefunden ift, fo ift entfprechende Sicherheit des angenommenen Widerlagers gegen Drehung vorhanden. Da die Richtung *wk* mit der Normalen zu *ST* einen Winkel einfchliefst, welcher weit kleiner als der Reibungswinkel ρ bleibt, fo ift auch Gleichgewicht gegen Gleiten bekundet.

Will man die Stabilität des Widerlagers unter Beachtung des inneren Drittels der Bogenfläche des Meridianftreifens prüfen, fo erleidet das Wefen der hierbei zu verfolgenden Schritte, welche aufserdem mit der in Art. 142 (S. 197) befprochenen Beftimmung der Widerlagsftärke des Tonnengewölbes in vollfter Uebereinftimmung ftehen, keine Beeinträchtigung.

366.
Gewölbftärke.

Auf Grund der Ergebniffe der ftatifchen Unterfuchung des Meridianftreifens des Kuppelgewölbes ift die Gewölbftärke in der in Art. 323 (S. 475) angegebenen Weife näher feft zu ftellen.

Die gröfste wagrechte Mittelkraft der Seitenpreffungen der einzelnen Kranzfteine ift die Kraft *IV III* der vierten Kranzfchicht. Trägt man *sr* = *IV III* auf, zieht man durch *r* die Lothrechte zu *MB* und durch *s* die Lothrechte zu *MA* des Grundriffes *MAB* vom Meridianftreifen, fo erhält man in *st*, bezw. *tr* die normalen Seitenpreffungen des 4. Kranzfteines. Für alle übrigen Kranzfteine find derartige Seitenpreffungen kleiner, weil alle übrigen zugehörigen Mittelkräfte kleiner als *IV III* find.

Aus praktifchen Gründen, namentlich zur Vermeidung einer zu bedeutenden Zahl ungleich ftarker Wölbfchichten, geht man für die Berechnung der von den normalen Seitenpreffungen zunächft abhängigen Gewölbftärke von den gröfsten diefer Preffungen aus. Diefe normalen Preffungen *st* = *tr* find im Plane gemeffen gleich 1,75 m. Die Bafis ift $pz = 0{,}2$ m; folglich ift die normale Preffung gleich $1{,}75 \cdot 0{,}2 = 0{,}35$ cbm. Die zwifchen den Fugen *3* und *4* des Meridianftreifens gegebene mittlere Breite des 4. Kranzfteines mifft 0,58 m.

Zur Anwendung der beim Normaldrucke bei einer Tiefe gleich 1 m abgeleiteten Gleichung 150 (S. 187) ift N für die Stofsflächen des 4. Kranzfteines zu berechnen als

$$N = \frac{0{,}35 \cdot 1}{0{,}58} = 0{,}6 \text{ cbm}.$$

Nach der eben bezeichneten Gleichung ergiebt fich für Backfteinmaterial eine Stärke

$$d_1 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - 0{,}6)\, 0{,}6} = 0{,}12 \text{ m},$$

d. h. gleich einer Backfteinbreite.

Der Lagerfugendruck für die Fuge *4* ift gleich *IV 4*. Sieht man diefen Druck vermöge feiner nur geringen Abweichung von der normalen Stellung zur Fugenrichtung *4* fofort als zugehörigen Normaldruck an, fo wird, da *IV 4* = 1,25 m mifft und die mittlere Dicke der Lagerfugenfläche *4* nach dem Grundriffe *MAB* des Meridianftreifens zu 0,5 m erhalten wird, unter Beachtung der Bafis $pz = 0{,}2$ m die Mafszahl des Normaldruckes der Lagerfuge *4* für die Tiefe gleich 1 m gefunden als

$$N = \frac{1{,}25 \cdot 0{,}2 \cdot 1}{0{,}5} = 0{,}5 \text{ cbm}.$$

Diefer Werth giebt nur eine Stärke

$$d_2 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 = 0{,}5)\, 0{,}5} = \backsim 0{,}11 \text{ m}.$$

Da fonach d_2 kleiner als d_1 wird, fo ift in erfter Linie die Stärke $d_1 = 0{,}12$ m zu berückfichtigen.

Für die Fuge *7* ift der Lagerfugendruck gleich $VII\,7 = 3{,}1$ m und die mittlere Dicke gleich $0{,}8$ m; folglich wird, da ηg als Parallele zu $VII\,7$ als Normale zur Fugenrichtung *7* beibehalten werden kann, für die Tiefe gleich 1 m berechnet

$$N = \frac{3{,}1 \cdot 0{,}2 \cdot 1}{0{,}8} = 0{,}775 \text{ cbm} = \backsim 0{,}8 \text{ cbm}.$$

Hierfür wird die Gewölbftärke

$$d_3 = \frac{1}{150}\sqrt{(540 - 0{,}8)\ 0{,}8} = \backsim 0{,}14 \text{ m},$$

alfo gröfser als eine halbe Backfteinlänge.

Für die Widerlagsfuge *10* ift der Normaldruck nach Meffung der Gewichtsftrecke $o\,10 = 9{,}35$ m bei der mittleren Dicke gleich 1 m zu berechnen als

$$N = \frac{9{,}35 \cdot 0{,}2 \cdot 1}{1} = 1{,}87 \text{ cbm}.$$

Diefer Normaldruck erfordert eine Gewölbftärke

$$d_4 = \frac{1}{150}\sqrt{(540 - 1{,}87)\ 1{,}87} = 0{,}21 \text{ m},$$

alfo nahezu eine Backfteinlänge.

Die im Vorftehenden berechneten Gewölbabmeffungen find durchweg kleiner als die in der Zeichnung angenommenen Stärken. Sie liefern gewiffe Grenzwerthe, welche bei einer nunmehr zum zweiten Male durchzuführenden Stabilitäts-Unterfuchung des Kuppelgewölbes in Betracht zu ziehen find.

Zu diefem Zwecke wird für den neuen Meridianftreifen, da für die Fuge *7* fchon $0{,}14$ m Stärke eintreten müffte, bis zur Fuge *6* eine Gewölbftärke zu $^1/_2$ Backftein, von Fuge *6* bis zur Widerlagsfuge *10* dagegen eine Gewölbftärke zu 1 Backftein angenommen und nunmehr ganz in der bei Fig. 563 angegebenen Weife die Stabilitäts-Unterfuchung diefes fchwächeren Meridianftreifens durchgeführt.

Im vorliegenden Falle ergiebt diefe hier nicht weiter dargeftellte Unterfuchung jedoch den Ausweis, dafs die Gewölbftärken im Allgemeinen und befonders in der Widerlagsfuge *10* wieder zu vergröfsern find, fo dafs die in Fig. 563 vorweg angenommenen Gewölbftärken zweckmäfsig beibehalten werden.

367. Widerlagsftärke.

Die in Fig. 563 enthaltene ftatifche Unterfuchung des Widerlagers, abhängig gemacht von den im Meridianftreifen wach gerufenen Kräften, welche zur Herftellung des Gleichgewichtszuftandes einem möglich kleinften Werthe entfprechen, liefert das Ergebnifs der ficheren Standfähigkeit des Stützkörpers, da der Angriffspunkt w der letzten in Betracht zu ziehenden Refultirenden wk noch innerhalb des inneren Drittels der Stärke ST des Widerlagers liegt, da aufserdem die Mittellinie des Druckes die Widerlagsfläche nicht verläfft und da endlich auch eine Gefahr des Gleitens nicht bekundet ift.

Sollte die Strecke Tw genau gleich $\frac{ST}{3}$ werden, fo könnte die Breite des Theilftreifens *12* fogar noch etwas verkleinert werden.

Eine noch gröfsere Sicherheit für die Standfähigkeit des Widerlagers läfft fich einführen, fobald, wie im Plane P von Fig. 563 angedeutet ift, die im Meridianftreifen zu ermittelnden Preffungen unter der Benutzung des inneren Drittels der Bogenfläche beftimmt und bei der fortgefetzten ftatifchen Unterfuchung des Widerlagers in bekannter Weife derart benutzt werden, dafs der Angriffspunkt w den Abftand gleich ein Drittel der Widerlagsftärke von der Aufsenkante des Stützkörpers erhält.

In dem in der Zeichnung behandelten Falle ift die Stärke ST des Widerlagers gleich $1{,}25$ m. Der Durchmeffer des betrachteten Kuppelgewölbes ift 10 m; mithin ift die Widerlagsftärke gleich $\frac{1{,}25}{10} = \frac{1}{8}$ diefes Durchmeffers.

368. Fufsring.

Der refultirende wagrechte Schub, welcher vom Meridianftreifen bei der mittleren Dicke 1 m am Fufse in der Widerlagsfuge des Kuppelgewölbes auf den

Widerlagskörper übertragen wird, kann durch einen um den Gewölbefufs gelegten eifernen Ring aufgenommen und vernichtet werden.

Durch diefen Fufsring wird die Sicherung des Gewölbefufses, bezw. die verminderte Beanfpruchung des Widerlagers erreicht.

Die Berechnung des meiftens rechteckig genommenen Querfchnittes des Fufsringes, welcher eine Zugfpannung von der Gröfse der zu vernichtenden, normal zu den Seitenebenen des Meridianftreifens ftehenden Seitenkräfte des refultirenden wagrechten Schubes aufzunehmen hat, erfolgt unter Anwendung der Gleichung 249 (S. 465)

$$p = \frac{HR}{D}.$$

Hierin ift p nunmehr als Gröfse der Zugfpannung, welche der Querfchnitt des Fufsringes aufzunehmen hat, in Kilogramm zu beftimmen, indem zuvor der refultirende wagrechte Schub H in Kilogramm berechnet ift. Bei $\frac{R}{D}$ kann R als Halbmeffer des Bogens AB der mittleren Dicke der Widerlagsfuge und D als diefe mittlere Dicke felbft in Metern bleiben.

H wird in der Zeichnung, wie hier in *VIIo*, als Linie erhalten, welche die Höhe des Steinprismas vom Wölbmaterial angiebt, deffen rechteckige Grundfläche eine Länge von 1 m, aber eine Breite gleich der Bafiszahl, welche beim Auftragen der Gewichtsftrecken der Theilftreifen des Gewölbes benutzt wird, befitzt.

Bezeichnet B die Bafiszahl (in Met.), γ das Gewicht von 1 cbm des Wölbmaterials (in Kilogr.), fo wird

$$p = \frac{H \cdot 1 \cdot B \gamma R}{D} \text{ Kilogr.}$$

Ift ferner f die gefuchte Querfchnittsfläche (in Quadr.-Centim.), s die zuläffige Zugfpannung (in Kilogr.) für 1 qcm, fo ift

$$p = fs = \frac{HB\gamma R}{D} \text{ Kilogr.}$$

und folglich

$$f = \frac{HB\gamma R}{sD} \text{ Quadr.-Centim.} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 250.$$

Beifpiel. In Fig. 563 ift $H = VIIo$ zu $1{,}7$ m gemeffen; ferner ift $B = 0{,}2$ m, $\gamma = 1600$ kg, $R = 5{,}2$ m und $D = 1$ m; s fei $= 700$ kg für 1 qcm. Alsdann ift

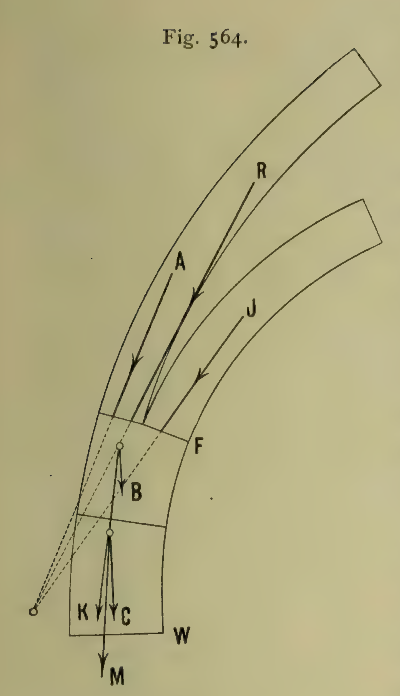
$$f = \frac{1{,}7 \quad 0{,}2 \cdot 1600 \cdot 5{,}2}{700 \cdot 1} = 4{,}04 \text{ qcm.}$$

Ein fchmiedeeiferner Fufsring mit einem rechteckigen Querfchnitte von 1 cm Breite und 4 cm Höhe würde den refultirenden wagrechten Schub vernichten.

369.
Doppelkuppel.

Bei Doppelkuppeln ift die ftatifche Unterfuchung auf dem in Art. 364 (S. 516) befchriebenen Wege für die Innen- und Aufsenkuppel befonders vorzunehmen. Vereinigen fich beide Kuppeln oberhalb ihres Gewölbefufses in einer gemeinfchaftlichen Fuge F (Fig. 564), fo erfolgt die getrennte ftatifche Unterfuchung der äufseren und inneren Kuppel bis zu diefer Fuge F. Ift J der refultirende Fugendruck der Innenkuppel und A der refultirende Fugendruck der Aufsenkuppel, fo find diefe für die Fuge F vorhandenen Drücke zunächft zu einer Refultirenden R zufammenzufetzen, um alsdann durch ihre Vereinigung mit den Gewichten B, C u. f. f. der Theile des gemeinfchaftlichen Kuppelgewölbftückes, welches zwifchen der Fuge F und der

Fig. 564.



Widerlagsfuge *W* liegt, nach und nach unter Einführung der entftehenden Mittelkräfte *K*, *M* u. f. f. die Stabilitäts-Unterfuchung zu vollenden.

Der refultirende wagrechte Schub, welcher vom Meridianftreifen der Doppelkuppel in der Widerlagsfuge auf den Widerlagskörper übertragen wird, ift gleich der Summe der fämmtlichen wagrechten Mittelkräfte der Seitenpreffungen der einzelnen Kranzfteine der Aufsen- und Innenkuppel. Die Prüfung der Stabilität des Widerlagers felbft erfolgt auch für Doppelkuppeln in der in Art. 365 (S. 519) angegebenen Weife. Eben fo richtet fich die Beftimmung der Gewölbftärke beider Kuppeln nach dem in Art. 366 (S. 520) Vorgetragenen.

370.
Stutz- oder Hängekuppel.

Die ftatifche Unterfuchung der Stutz- oder Hängekuppel (Art. 353, S. 505) ift, wie beim gewöhnlichen Kuppelgewölbe, in der Weife durchzuführen, als zunächft ein am weiteften gefpannter Meridianftreifen der Hängekuppel, deffen mittlere lothrechte Meridianebene in den meiften Fällen durch eine Ecke des als Quadrat, Rechteck oder Vieleck gegebenen Grundriffes des Gewölbes gehen mufs, der erforderlichen Prüfung unterworfen wird.

Die Ergebniffe diefer Prüfung find unmittelbar auf die weniger weit gefpannten Meridianftreifen, welche natürlich in ihrer mittleren Fufsdicke im Grundkreife der Kuppel und in ihrer Belaftung, wie gewöhnlich der Fall, keine Abweichung vom Hauptftreifen aufweifen müfften, zu übertragen.

Hiernach treten diefelben Gefichtspunkte, welche in Art. 322 (S. 469) bei der Zerlegung der bufigen Kappen gothifcher Kreuzgewölbe angeführt find, im Wefentlichen wieder in den Vordergrund. Auch die Beftimmung der Gewölbdrücke, welche von den verfchieden weit gefpannten Meridianftreifen auf die Widerlagskörper gelangen, ift unter Beachtung des in dem bezeichneten Artikel Vorgetragenen zu treffen.

371.
Kuppel mit Laterne.

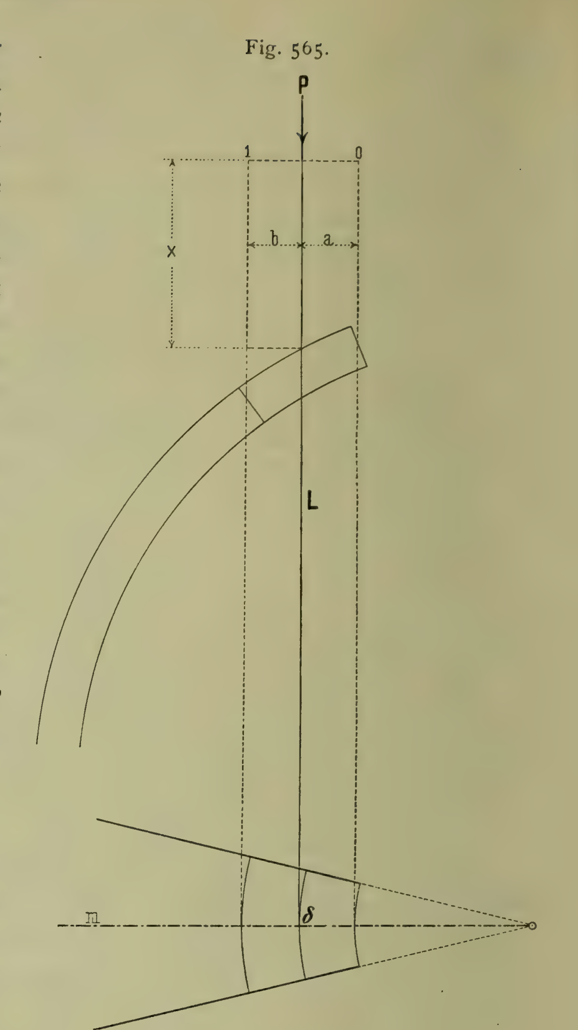
Wird das oben offene, durch den Lichtring im Scheitel begrenzte Kuppelgewölbe mit einer Laterne, deffen Träger meiftens der Lichtring felbft ift, verfehen, fo erfährt das Kuppelgewölbe hierdurch eine befondere Belaftung, welche je nach dem Gewichte der Laterne von geringem oder erheblichem Einflufs auf die Stabilität und die Stärke des Gewölbes fein kann.

Wird das auf den Kranzftein des Meridianftreifens entfallende Gewicht des zugehörigen Laternenftückes durch das Gewicht eines Steinprismas des Wölbmaterials erfetzt und mit dem Gewichte des Kranzfteines vereinigt, fo ift die Belaftung diefes Kranzfteines, bezw. des Theilftückes im Meridianftreifen bekannt. Die unter Beachtung diefer Belaftung einzuleitende ftatifche Unterfuchung des Meridianftreifens weicht im Wefen von den zu Fig. 563 (S. 517) gegebenen Erläuterungen nicht ab.

Ift z. B. *L* in Fig. 565 die lothrechte Schwerlinie des für den zu Grunde gelegten Meridianftreifen *m* in Frage kommenden Laternenftückes, fo mufs diefe Linie *L* auch Schwerlinie oder, genau genug, die Mittellinie des erften Theilftreifens für den zugehörigen Kranzftein bleiben.

Man hat alfo den Abftand a der Lothrechten L von der bekannten erften Theillinie o zu benutzen, um durch $b = a$ die zu beftimmende zweite Theillinie 1 feft zu legen. Hiermit ift die Breite $a + b = 2a$ der Steinfäule gefunden, welche das Gewicht P Kilogr. des Laternenftückes erfetzen foll. Ferner ift durch die Lage von L auch die mittlere Dicke δ des zugehörigen Kranzfteines und fomit gleichzeitig diefelbe mittlere Dicke δ für die Steinfäule beftimmt.

Fig. 565.



Die Grundfläche diefer Steinfäule kann mit hinlänglicher Genauigkeit als ein wagrecht liegendes Rechteck von der Länge $2a$ Met. und der Breite δ Met. angenommen werden. Das Gewicht von 1 cbm Wölbmaterial fei γ Kilogr. Die zu berechnende mittlere Höhe x Met. der Steinfäule, welche das Gewicht P Kilogr. befitzen foll, ergiebt fich aus dem Ausdruck

$$2a\,\delta\,x\,\gamma = P$$

mit

$$x = \frac{P}{2a\,\delta\,\gamma} \text{ Met.} \qquad . \quad 251.$$

Hiermit ift die Beftimmung der Belaftung der Kuppel durch die Laterne getroffen. Die auf bekanntem Wege aufzufindenden Seitenpreffungen und Lagerfugendrücke der einzelnen Kranzfteine geben weiteren Auffchlufs über die einzuführende Gewölbftärke.

Bei bedeutendem Gewichte der Laterne können die Seitenpreffungen für den oberen Kranzftein, alfo für den Lichtring, eine Gewölbftärke erfordern, welche unter Umftänden bei der Ausführung nicht geftattet werden foll. Alsdann ift die Durchbildung der Laterne mit geringerem Gewichte nothwendig.

Wird ein Kuppelgewölbe in irgend einer Ringfchicht durch ein Einzelgewicht belaftet, fo ift fein Einflufs auf die Seitenpreffungen und Lagerfugendrücke der Kranzfteine in dem befonderen Meridianftreifen, deffen Symmetrieebene die lothrechte Schwerlinie der Einzelbelaftung enthält, unter entfprechender Berückfichtigung von Gleichung 249 (S. 465) und unter Anwendung der fonft erforderlichen graphifchen Ausführungen zu beurtheilen.

372. Winddruck.

Frei gelegene, kräftig emporfteigende Kuppelgewölbe haben bei ftarken Stürmen Beanfpruchungen zu erleiden, welche eine Formänderung der Kuppel und eine Aenderung der vor der Einwirkung des Windes vorhandenen Seitenpreffungen und Lagerfugendrücke bewirken können.

Die genaue Beftimmung folcher Form- und Kräfteänderungen durch Winddruck ift bislang noch nicht gelungen. Man wird daher bei der ftatifchen Unterfuchung

von Kuppelgewölben, welche neben ihrem Eigengewicht und ihrer fonftigen ruhenden Belaftung noch vom Winddrucke beanfprucht find, einen Näherungsweg betreten müffen.

Die einzelnen Meridianftreifen der halben Kuppel, welche von der Windrichtung getroffen werden, erhalten durch den Winddruck ungleich grofse Belaftungen. Der Meridianftreifen, deffen lothrechte Symmetrieebene zugleich Ebene des Windftromes ift, erfährt die gröfste Beanfpruchung. Ermittelt man unter Berückfichtigung der in Art. 337 (S. 486) gegebenen Anleitung die auf den Rückenflächen der einzelnen Kranzfteine diefes Meridianftreifens eintretenden lothrecht ftehenden, im Schwerpunkte der gedrückten Flächen angreifenden Winddrücke; fetzt man diefelben einzeln mit den Gewichten und der fonft etwa vorhandenen Belaftung der zugehörigen Kranzfteine zufammen, um hierdurch für jeden Kranzftein die Refultirende der ihn angreifenden äufseren Kräfte zu erhalten: fo laffen fich unter nunmehriger Benutzung diefer einzelnen Refultirenden ganz im Sinne der in Art. 364 (S. 516) gegebenen Darlegungen die fämmtlichen Seitenpreffungen und Lagerfugendrücke des im Allgemeinen am ungünftigften beanfpruchten Meridianftreifens ermitteln und hiernach die Gewölbftärken des durch Winddruck mit belafteten Kuppelgewölbes bemeffen.

373. Kuppelgewölbe zwifchen Gurtbogen.

Werden mehrere Kuppelgewölbe als Stutzkuppeln neben einander angeordnet und durch Gurtbogen getrennt, fo kommen für die Beanfpruchung diefer Gurtbogen und ihrer gemeinfchaftlichen Pfeiler ähnliche Verhältniffe in Betracht, wie folche in Art. 258 (S. 381) beim Kreuzgewölbe berückfichtigt find. Tritt in Folge von ungleich weit gefpannten und ungleich belafteten Gurtbogen, die als Widerlager einzelner, neben einander gereihter Hänge- oder Stutzkuppeln von verfchiedener Spannweite dienen und gruppenweife von einem gemeinfchaftlichen Gurtpfeiler getragen werden, ein ungünftiger Verlauf der Mittellinie des Druckes im Pfeiler ein, fo ift auch hier, wie beim Kreuzgewölbe, durch entfprechende Ausmauerung der Gewölbzwickel oberhalb des Pfeilers eine Sicherung der Stabilität des Stützkörpers einzuführen. Die ftatifche Unterfuchung der Gurtbogen und ihrer Pfeiler erfolgt nach den bekannten Grundlagen.

374. Empirifche Regeln für die Gewölbftärke.

Form und Belaftung der Kuppelgewölbe bedingen unter Beachtung der Feftigkeit und der fonftigen Eigenfchaften des Wölbmaterials die Gewölbftärke. Den hierbei obwaltenden verfchiedenen Verhältniffen können empirifche Regeln für die Stärke der Kuppelgewölbe nicht fofort gerecht werden.

Die Ergebniffe diefer Regeln follen im Allgemeinen nur als Ausgangswerthe dienen, welche der ftatifchen Unterfuchung und der damit zufammenhängenden Beftimmung der Stärke der Kuppelgewölbe vorläufig zu Grunde zu legen find.

Für kleinere, mäfsig belaftete Kuppelgewölbe aus gutem Backfteinmaterial über quadratifchem Grundrifs können folgende Gewölbftärken als Ausgangswerthe Berückfichtigung finden:

Spannweite bis:	4	6	8	10 Met.
Gewölbftärke im Scheitel:	$^1/_2$	1	1	1 Backftein
» am Kämpfer:	$^1/_2$	1	$1^1/_2$	2 »

Aehnliche Abmeffungen können auch für die Stärke kleinerer Kuppelgewölbe aus Backftein über Kreisgrundriffen gewählt werden.

375. Empirifche Regeln für die Widerlagsftärke.

Für die Ermittelung der Widerlagsftärke der Kuppelgewölbe find die nach empirifchen Regeln anzunehmenden Werthe gleichfalls nur als vorläufige Abmeffungen anzufehen, welche für die Stabilitäts-Unterfuchung der im Querfchnitte oft nach

befonderen baulichen Verhältniffen angeordneten Widerlagskörper den erften Anhalt gewähren.

Bei verfchiedenen Grofsconftructionen der Kuppelgewölbe älterer und neuerer Zeit fchwankt die Stärke der Widerlager zwifchen $^1/_6$ bis etwa $^1/_{11}$ ihrer Spannweite. *Rondelet* ftellte die Regel auf, dafs dem Kuppelgewölbe die Hälfte der Widerlagsftärke des Tonnengewölbes von gleicher Spannweite als Widerlager zugewiefen werden foll.

Allgemein genommen, kann man die Widerlagsftärke der Kuppelgewölbe näherungsweife zu $^1/_6$ bis $^1/_8$ des Kuppeldurchmeffers wählen.

Wird in befonderen Fällen der in Art. 368 (S. 521) erwähnte Fufsring zur theilweifen oder gänzlichen Vernichtung des in der Widerlagsfläche des Kuppelgewölbes wirkenden wagrechten Gewölbfchubes angebracht, fo kann die Stärke des Widerlagskörpers in geeigneter Weife herabgefetzt werden. Beruhigenden Auffchlufs über die alsdann einzuführende Widerlagsftärke hat die anzuftellende ftatifche Unterfuchung zu geben.

c) Ausführung der Kuppelgewölbe.

376.
Allgemeines.

Die Ausführung der Kuppelgewölbe mit über einander gelagerten concentrifchen Ring- oder Kranzfchichten, deren Lagerflächen durch normal zur Laibungsfläche der Kuppel gerichtete gerade Linien erzeugt werden, deren Stofsflächen lothrechten Meridianebenen des Gewölbes angehören, ift im Allgemeinen fehr einfach und in vielen Fällen bei nicht zu grofsen Spannweiten der Kuppeln und bei geeignetem Wölbmaterial ohne Schwierigkeiten felbft in freihändiger Mauerung zu befchaffen. Der Bildung der Lager- und Stofsfugen entfprechend, erhält jeder Wölbftein im Wefentlichen eine doppelt keilförmige Geftalt.

Ueber die Ausführungsweife der Kuppelgewölbe der früheften Zeit und der Zeit der Römer über kreisrunden und vieleckigen Räumen find in Theil II, Band 2 diefes »Handbuches« eingehende Mittheilungen, worauf hier verwiefen werden mufs, gemacht. Die dort näher gegebene Befchreibung der aus Quadern ohne oder mit Mörtel, aus Backfteinen, aus Backfteinen mit Gufsgemäuer, aus Gufsgemäuer mit Backfteinverblendung, aus Töpfen mit Gufsmauerwerk oder aus eigenartig geformten Töpfen allein hergeftellten Kuppelgewölbe bietet eine Fülle von Angaben über die verfchiedenften Arten ihrer Ausführung dar.

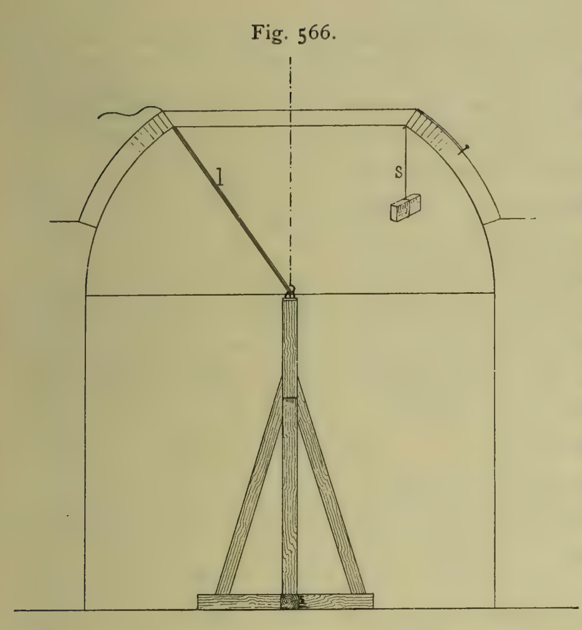
Die hauptfächlichften Baumaterialien für Kuppelgewölbe der Jetztzeit find gewöhnliche Backfteine, Hohl- oder Lochfteine, poröfe Backfteine, Quader, lagerhafte, plattenförmige Bruchfteine, guter Kalkmörtel, verlängerter Cementmörtel oder Cementmörtel allein.

377.
Rüftungen.

Befondere Einrüftungen durch Lehrbogen mit Schalung werden wohl für gröfsere aus Quadern oder Bruchfteinen zu wölbende Kuppeln in Anwendung gebracht. Bei Backfteinkuppeln, welche in über einander gelagerten Kranzfchichten gemauert werden, ift eine derartige Einrüftung meiftens nicht erforderlich.

Gehört die Laibung der Kuppel einer Kugelfläche an, fo benutzt man beim Wölben die fog. Leier *l* (Fig. 566) von der Länge des Halbmeffers des Kugelgewölbes. Die Leier, eine Leifte oder Latte aus Tannenholz mit etwa 5 cm Durchmeffer, ift am unteren Ende mit einem Haken in eine Oefe gehängt, welche auf dem Kopfe eines feft ftehenden Pfoftens oder des Ständers eines Bockgerüftes genau im Mittelpunkte des Gewölbes angebracht ift.

Fig. 566.



Durch Drehen der Leier um diefe Oefe wird die Lage der einzelnen Kranzfchichten und die Richtung der Stofsflächen der Wölbfteine in einfachfter Weife angegeben. Beim Wölben felbft mufs, da vor dem vollftändigen Schluffe des einzelnen Kranzringes, fobald die Neigung der unteren Lagerfläche zu grofs wird, leicht ein Abgleiten der Wölbfteine eintritt, das Beftreben des Gleitens durch Verwendung eines guten, möglichft fchnell bindenden Mörtels verhindert werden. In der Nähe des Gewölbefcheitels ift das Beftreben des Abgleitens am ftärkften.

Das beffere Haften des einzelnen Wölbfteines einer zu vermauernden Kranzfchicht auf feiner Lagerfläche wird zweckmäfsig durch eine befondere Belaftung des immer zuletzt verfetzten Steines unterftützt. An einem Nagel, der in einer tief gelegenen Fuge am Rücken des Gewölbes eingefchlagen ift, wird eine Schnur *s* befeftigt. Das andere Ende diefer Schnur wird mit einem Gewichte, gewöhnlich mit einem Backftein verbunden. Die über den Wölbftein gelegte Schnur befchleunigt mittels des Gewichtes des frei im Inneren des Gewölbes herabhängenden Backfteines feine Mörtelverkittung auf der Lagerfläche.

Sind beim Einwölben mehrere Arbeiter thätig, fo wird von jedem derfelben ftatt der Leierlatte eine an der Oefe des Ständers befeftigte Schnur, auf welcher die Länge des Kugelhalbmeffers genau bezeichnet ift, als Richtfchnur für die Lager- und Stofsfugen des Gewölbes benutzt.

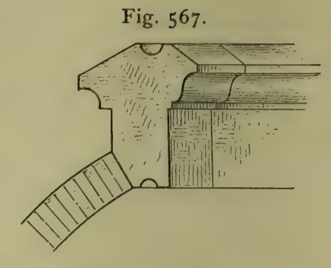
Bei gröfseren Kugelgewölben, namentlich aber bei Kuppelgewölben, für deren Erzeugende der Mittelpunkt aufserhalb der lothrechten Scheitelaxe der Gewölbfläche gewählt ift, werden Leier, bezw. Schnüre nicht gebraucht. An ihre Stelle tritt ein um die Scheitelaxe drehbarer, möglichft einfach hergerichteter Lehrbogen oder unter Umftänden die Einrüftung durch eine Schar von radial geftellten Lehrbogen mit Schalung.

378. Kuppelgewölbe aus Backfteinen.

Bei der Verwendung der gewöhnlichen Backfteine, der Hohl- oder Lochfteine oder der poröfen Backfteine zur Wölbung der Kuppeln ift unter der Vorausfetzung, dafs nur gutes Material benutzt wird, die der Gewölbfläche entfprechende richtige Stellung der Lager- und Stofsflächen beim Wölben der Kranzfchichten ftreng zu beachten. Die durch Waffer angenäfften Steine werden mit gut und hinlänglich fchnell bindendem Mörtel (verlängerter Cementmörtel, bezw. reiner Cementmörtel) verfetzt. Da jeder Stein, genau genommen, doppelt keilförmig fein foll, fo mufs ein entfprechendes Zuhauen der Steine vorgenommen werden. Bei kleineren Gewölben ift diefes Zuhauen kaum zu vermeiden. Bei gröfseren Gewölben befchränkt fich das Zuhauen in der Regel nur auf die Stofsflächen der Ringfchichten, da bei den Lagerflächen die keilförmige Ausgleichung oft fchon durch die Mörtelfüllung erzielt werden kann. Im Ganzen foll aber bei forgfältiger Ausführung dem fach-

gemäfsen Zurichten der Wölbfteine Rechnung getragen werden. In den meiften Fällen wendet man zur Erzielung richtiger Lager- und Stofsfugenflächen am beften nur Binderfchichten an, weil fonft, namentlich bei den Kränzen mit geringerem Durchmeffer, die langen Seiten der Backfteine fich der Laibungsfläche des Gewölbes nicht gut anpaffen können.

Fig. 567.



In der Nähe des Scheitels des gefchloffenen Kuppelgewölbes wird das keilförmige Zufchärfen der in Binderfchichten zu vermauernden gewöhnlichen Backfteine etwas mifslich. Zweckmäfsig verwendet man defshalb für die oberen Kranzfchichten befonders gebrannte Keilfteine, fo wie einen gröfseren, entfprechend geformten und gebrannten, oder auch aus einem Quader bearbeiteten Schlufsftein.

Fig. 568.

Oben offene Kuppelgewölbe erhalten als Abfchlufs einen Lichtring. Hierfür werden die Wölbfteine, wie Fig. 567 zeigt, am beften aus gutem Quadermaterial angefertigt.

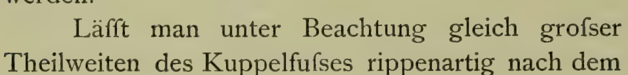
379. Sporen.

Zur Vermeidung einer erheblichen Belaftung des unteren Theiles eines gröfseren Kuppelgewölbes und feines Widerlagers durch volle Hintermauerung zwifchen dem Rücken des Gewölbes und der Innenfeite des etwa noch reichlich hoch über der Kämpferebene der Kuppel aufzumauernden Widerlagskörpers bringt man oft fog. Sporen an. Die zwifchen diefen Sporen *a* (Fig. 568) entftehenden Hohlräume oder Zellen vermindern das Gewicht der eigentlichen Hintermauerung in erwünfchtem Mafse.

In gleicher Weife können folche Sporen am Fufse der Mauerung der Doppelkuppeln zwifchen der äufseren und inneren Kuppelfchale angebracht werden.



380. Verftärkungsgurte.



Läfft man unter Beachtung gleich grofser Theilweiten des Kuppelfufses rippenartig nach dem Scheitel oder dem Lichtkranze der Kuppel anfteigende Wölbftreifen mit gröfserer Stärke als die dazwifchen liegenden Gewölbftücke befitzen, ausführen, fo entftehen die fog. Verftärkungsgurte der Kuppel. In der Regel treten diefe etwa durchweg $1\frac{1}{2}$ bis 2 Stein breiten Verftärkungsgurte um $\frac{1}{2}$ Steinftärke an der Rückenfläche des Gewölbes vor.

Als lehrreiches Beifpiel eines Kuppelgewölbes mit Verftärkungsgurten und mit zweckmäfsiger Einführung eines Fufsringes zur Vernichtung des für den Widerlagskörper nachtheiligen wagrechten Gewölbfchubes ift die über der kreisrunden Vorhalle des ftädtifchen Bades zu Karlsruhe von *Durm*[189]) ausgeführte

Fig. 569.

[189]) Siehe: Zeitfchr. f. Bauw. 1874, S. 123.

Kuppel mit Lichtring zu betrachten. In Fig. 569 ift für diefe Kuppel die Anordnung des in einem Kranz von Sandfteinquadern eingelaffenen, mit Blei vergoffenen fchmiedeeifernen Fufsringes *R* veranfchaulicht.

381. Elliptifche Kuppeln.

Bei elliptifchen Kuppelgewölben find die Lagerfugenkanten der einzelnen Kranzfchichten Ellipfen, welche durch Schnitte wagrechter Ebenen mit der Gewölbelaibung erhalten werden. Die Lagerfugenflächen der Wölbkränze bilden windfchiefe Flächen, erzeugt durch gerade Linien, welche in jedem Punkte der zugehörigen Lagerfugenkante normal zur Oberfläche des Ellipfoids der Kuppel ftehen und in Folge hiervon verfchiedene Neigung zur wagrechten Ebene annehmen.

Beim Mauern der Wölbkränze kann übrigens das Windfchiefe der Lagerflächen durch entfprechende Stärke der Mörtelfüllung ohne erhebliche Nachtheile für die Wölbung ausgeglichen werden.

Die Stofsfugenflächen liegen in Meridianebenen, welche durch die lothrechte Scheitelaxe der elliptifchen Kuppel geführt werden.

Um während der Ausführung elliptifcher Kuppelgewölbe die richtige Bildung der Laibungsfläche und die genaue Stellung der Lager-, bezw. Stofsfugenflächen aufrecht zu erhalten, find, von der lothrechten Hauptaxe der Kuppel ftrahlenförmig auslaufend, mehrere Lehrbogen aufzuftellen, deren äufsere Begrenzungslinien nach den ihnen zukommenden Meridianfchnitten zu beftimmen find.

382. Caffettirte Kuppelgewölbe.

Die Mauerung caffettirter Kuppelgewölbe in einzelnen Kranzfchichten, wobei die Kranztheile der Caffetten nur in geringerer Stärke, als die Caffettenftege auszuführen find, erfolgt wie bei den nicht caffettirten Kuppelgewölben.

Ift unter befonderen Verhältniffen bei diefen Gewölben eine vollftändige Einrüftung mit Schalung nothwendig, fo find für die Caffetten Holzkaften als Hilfsrüftung auf der Schalung zu befeftigen. Diefe Holzkaften find im Allgemeinen in der in Art. 163 (S. 234) befchriebenen Weife anzufertigen.

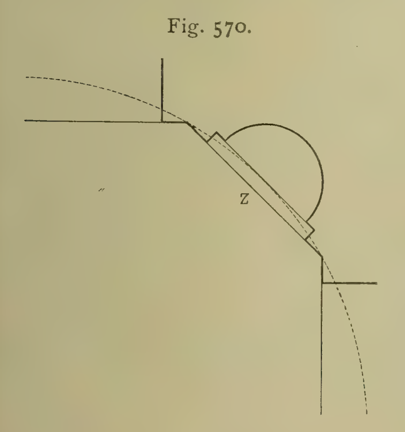
383. Hänge- oder Stutzkuppeln; Pendentifs.

Die Ausführung der Hänge- oder Stutzkuppeln weicht von der Herrichtung der vorhin befprochenen Kuppelgewölbe nicht ab.

Befondere Beachtung verdienen jedoch die bei diefen über quadratifchen, recht- oder vieleckigen Räumen eintretenden Stutzkuppeln in Frage kommenden Eckzwickel oder Pendentifs, deren Geftaltung in Art. 353 bis 355 (S. 505 bis 507) näher gekennzeichnet ift.

In aller Strenge ift der Fufs des Eckzwickels eine gerade Linie, wenn nicht, wie z. B. bei der Kuppel der Peters-Kirche in Rom, veranlafft durch eine befondere Grundrifsbildung der Widerlagskörper des Gewölbes, die Eckzwickel *z* nach Fig. 570 eine ausgebreitete Grundfläche erhalten.

Fig. 570.



Zur Vermeidung des in einer Schneide auslaufenden Anfatzes der Eckzwickel wird auch bei Hängekuppeln aus Backfteinmauerwerk als Anfänger diefer Zwickel am beften ein gröfserer, regelrecht bearbeiteter Quader (Fig. 571) verfetzt, welcher dem unteren Backfteinringe ein geeignetes Auflager bietet. Aufserdem kann aber auch in nicht unzweckmäfsiger Weife die Aufmauerung der Gewölbzwickel

in wagrechten Schichten mit allmählicher, der Laibungsfläche des Gewölbes entſprechender Vorkragung, wie Fig. 572 angiebt, vorgenommen werden. Die Stofsfugenflächen dieſer Zwickelmauerung werden nach lothrechten Meridianebenen der Kuppel geordnet. In dieſer Weiſe wurden von *Moller* die Pendentifs der Kuppelgewölbe über den Treppenhäuſern im Theater zu Mainz ausgeführt.

Fig. 571.

Vorkragungen *C* in wagrechten Schichten mit darüber gelegten, nach und nach vorgeſchobenen Mauerbogen *A*, *B* zeigt die Pendentif-Anordnung in Fig. 573. Hierbei entſteht zwiſchen der Aufmauerung *C* und dem unteren Mauerbogen *A* eine beſonders zu ſchliefsende gröfsere Fuge *h*. Zwiſchen dem höchſten Mauerbogen *1 2 3 4* und dem hier aus Quadern angenommenen Fufskranze der nach Art. 354 (S. 506) geſtalteten Oberkuppeln bleiben bei *2* im Grundriſſe nur noch kleine Zwickelſtücke, welche durch wagrechte Schichten mit Vorkragung oder durch Ringſchichten geſchloſſen werden können.

Fig. 572.

Im Allgemeinen zeigt dieſe Herſtellung der Pendentifs, welche in ähnlicher Weiſe z. B. bei den Kuppeln der Marcus-Kirche in Venedig vorkommt, einige Nachtheile. Der Schub der Mauerbogen *A*, *B* u. f. f. bewirkt für die Gurtbogen der Stirnſeiten der Unterkuppel eine ungünſtige Beanſpruchung welche leicht eine Verdrückung und Verdrehung der Gurtbogen im Gefolge haben kann.

384.
Kuppel
mit
Tambour.

Wird zwiſchen den Pendentifs und der Oberkuppel der ſog. Tambour, welcher als cylindriſcher, röhrenförmiger Mauerkörper nur einen erhöhten Fufs für die Oberkuppel bildet, eingefügt, ſo ſetzt ſich dieſer Tambour unmittelbar auf die von den Pendentifs getragene erſte Kranzſchicht.

385.
Einrüſtung.

Die Einrüſtung für das Wölben der Hängekuppeln kann, falls nicht ſehr grofse Spannweiten in Betracht kommen, auf die in der Richtung der Diagonalen des zu überwölbenden Raumes aufzuſtellenden Lehrbogen beſchränkt werden, nachdem zuvor am Mauerwerk der Stirnſeiten die Stirnlinien der Kuppelfläche mit Kreide oder Kohle genau aufgezeichnet ſind. Dieſe Stirnlinien geben in Gemeinſchaft mit den Rückenlinien der Diagonal-Lehrbogen für geübte Maurer hinreichenden Anhalt für die regelrechte Ausführung des Gewölbes.

386.
Kuppelgewölbe
aus
Bruchſteinen.

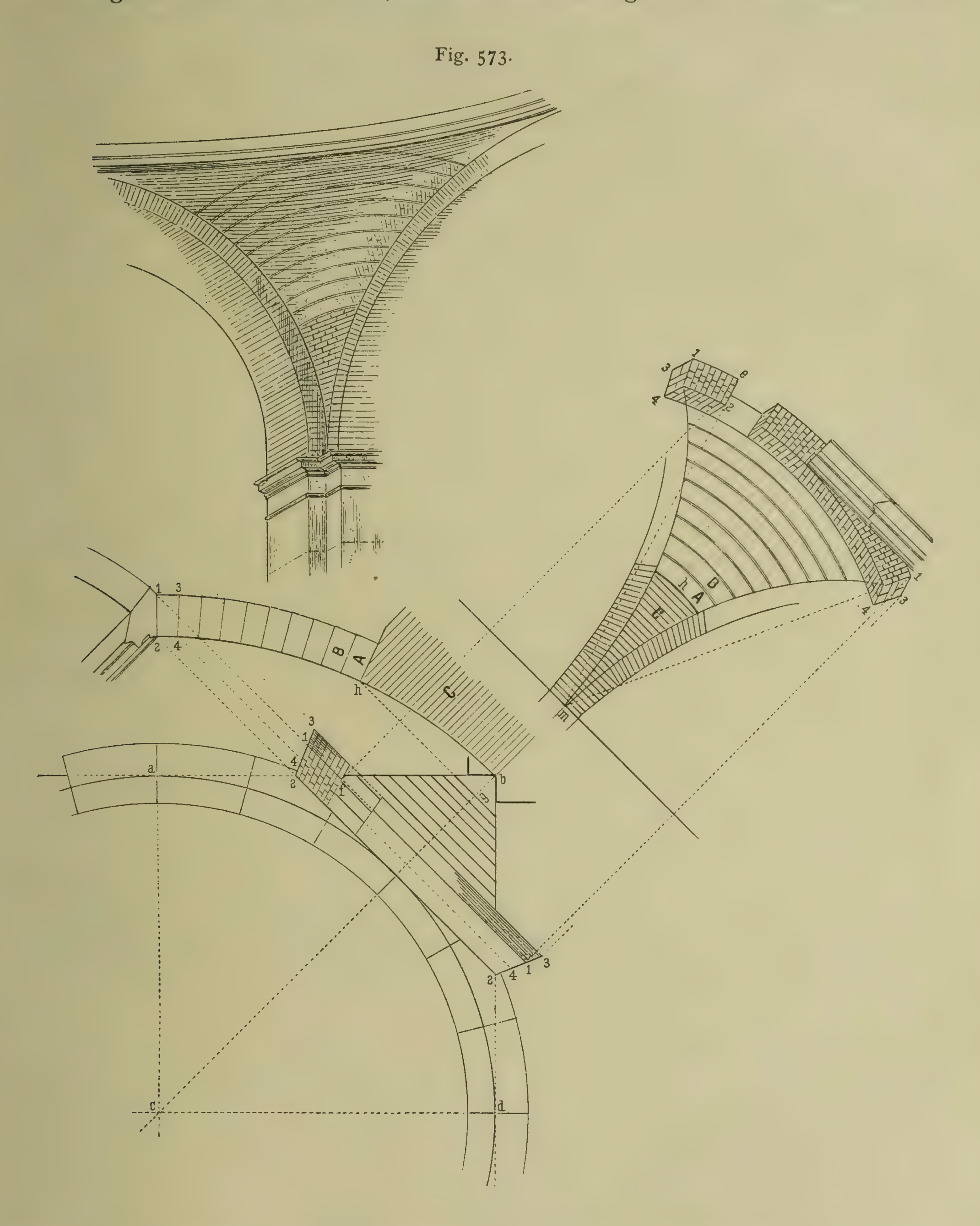
Gute und lagerhafte Bruchſteine, wenn deren einfache Bearbeitung ohne grofse Mühe zu erreichen iſt, namentlich aber die leichteren Arten vulcaniſcher Tuffe können zur Herſtellung der Kuppelgewölbe gebraucht werden.

Die Ausführung der Wölbung folgt den für Backſteinwölbung gegebenen Grundlagen. In den meiſten Fällen wird bei Bruchſteinwölbung eine Einrüſtung durch Lehrbogen mit Schalung erforderlich.

Kuppelgewölbe aus Quadern werden gleichfalls in über einander gelagerten Kranzſchichten hergeſtellt. Die ſtets zu beachtende Beſtimmung, wonach die Erzeugenden der Lagerflächen der Wölbſteine normal zur Laibungsfläche der Kuppel ſtehende gerade Linien ſein ſollen, während die Stoſsfugenflächen in Meridianebenen

387.
Kuppelgewölbe
aus
Quadern.

Fig. 573.



liegen müſſen, welche durch die lothrechte Scheitelaxe des Gewölbes gelegt werden, bedingt den Fugenſchnitt der Wölbquader.

Die Stoſsfugen ſind bei den über einander liegenden Kränzen nach Fig. 574 in gegenſeitigen, auf Kuf geordneten Verband zu bringen. Die Ausmittelung der

Fig. 574.

Brettungen der Kranzſteine iſt nach den einfachſten Lehren der darſtellenden Geometrie vorzunehmen. Auſserdem iſt die Bearbeitung der Wölbſteine nicht ſchwierig.

Die Ausführung der Wölbung, welche meiſtens unter Benutzung einer vollſtändigen Einrüſtung mit Lehrbogen und Schalung erfolgt, iſt im Allgemeinen den vorhin gegebenen Regeln der Backſteinwölbung entſprechend.

Im Beſonderen gelten für das Verſetzen der Quader, für den zu verwendenden Mörtel u. ſ. f. die in Art. 170 (S. 246) beim Tonnengewölbe angeführten Vorſchriften.

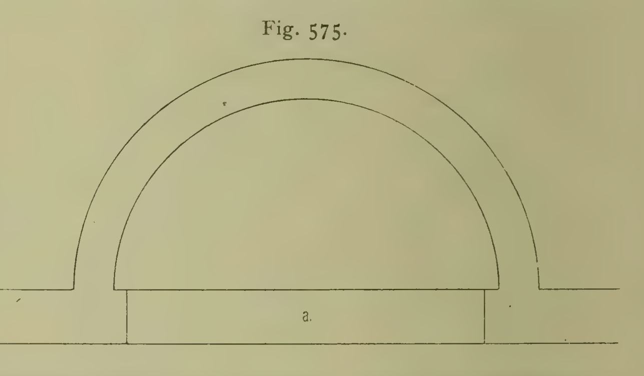
d) Niſchen- oder Chorgewölbe.

388. Allgemeines.

Die Laibungsfläche des Niſchen- oder Chorgewölbes gehört im Allgemeinen einer Hälfte der durch eine lothrechte Meridianebene in zwei Theile zerlegten Kuppelfläche an. Die Anordnung und Ausführung der Niſchengewölbe muſs ſich alſo im Weſentlichen nach den für das Kuppelgewölbe geltenden Regeln richten.

Abgeſehen von den in Art. 220 (S. 328) bereits näher beſprochenen, als Eckküberführungen behandelten Eck- oder Niſchengewölben, welche übrigens in dem dort Angeführten auch die Grundlagen für die Ausmittelung der Wölbſteine aus Quadermaterial über halbkreisförmigem oder ſonſt krummlinig begrenztem Grundriſſe der Niſche bieten, werden gröſsere Niſchen- oder Chorgewölbe nach dem Grundriſs in Fig. 575 meiſtens in ihrer Stirnfläche gegen ſelbſtändig in entſprechender Stärke ausgeführte Mauerbogen oder Gurtbogen *a* geſetzt. Dieſe Abſchluſs- oder Stirnbogen dienen dabei der Stirnſchnittfläche des Chorgewölbes unmittelbar als Widerlager.

Fig. 575.

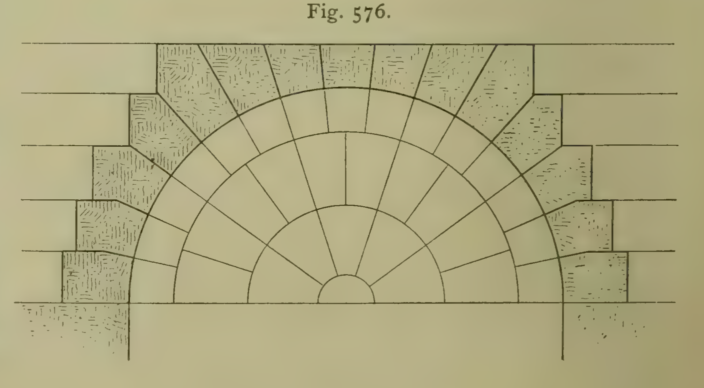


389. Ausführung.

Die Ausführung dieſer Gewölbe, gleichgiltig ob Backſtein-, Bruchſtein- oder Quadermaterial benutzt wird, folgt genau den beim Wölben der Kuppeln gekennzeichneten Wegen.

Soll in beſonderen Fällen bei gröſseren, aus Quadern herzuſtellenden Chorgewölben ein nach Fig. 576 gebildeter Fugenſchnitt gewählt werden, welcher ohne Anwendung eines ſelbſtändigen Abſchluſsbogens die

Fig. 576.



Wölbung ohne Einführung von Kranzfchichten mit wagrechten Lagerkanten geftattet, fo entfpricht diefe Anordnung hinfichtlich der Ausmittelung des Fugenfchnittes im Allgemeinen dem in Art. 220 (S. 328) Vorgetragenen.

Sollen Chorgewölbe caffettenartig gegliedert werden, fo ift das in Art. 382 (S. 529) Gefagte gleichfalls zu befolgen.

Eben fo entfprechen ihre Stabilitäts-Unterfuchung und die Beftimmung ihrer Gewölbftärke den hierüber beim eigentlichen Kuppelgewölbe gemachten Angaben.

---

17. Kapitel.

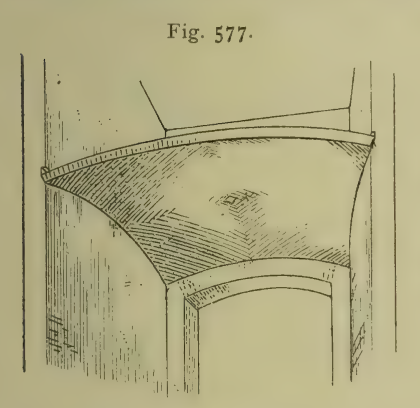
Böhmifche Kappengewölbe.

a) Geftaltung der böhmifchen Kappengewölbe.

390. Form.

Die Laibungsfläche des böhmifchen Kappengewölbes entfpricht derjenigen einer flachen Stutz- oder Hängekuppel. Im Gegenfatz zum preufsifchen Kappengewölbe, deffen Wölbfläche einem Cylindermantel angehört, befitzt das böhmifche Kappengewölbe eine fphärifche oder fphäroidifche Laibungsfläche.

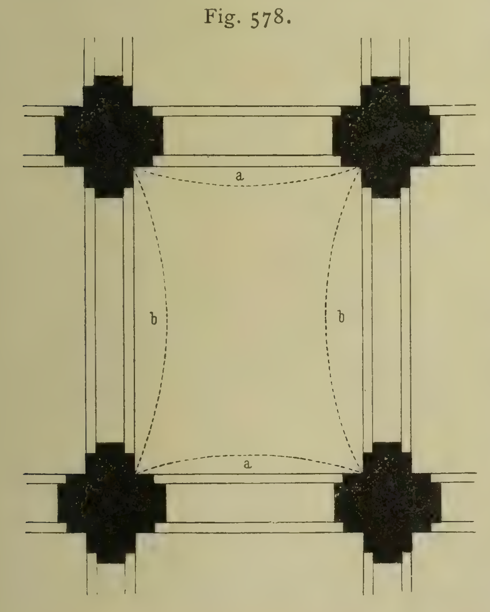
Fig. 577.



Das böhmifche Kappengewölbe, auch böhmifche Kappe, in Oefterreich Platzelgewölbe genannt, kann über regel- oder unregelmäfsig geftalteten Grundriffen in Anwendung kommen. Regelmäfsige Grundriffe haben aber die einfachere und fchönere Entwickelung der Form diefer Gewölbe im Gefolge.

Das böhmifche Kappengewölbe ift zur Herrichtung einer maffiven Decke mit geringer Pfeilhöhe und mäfsiger Stärke vorzüglich geeignet. In der Regel wird jedoch, um die Gewölbftärke nicht über $^1/_2$ Backfteinlänge zu fteigern, die gröfste Gewölbeweite felten über 5 m genommen. Die Pfeilhöhe wird zu $^1/_8$ bis $^1/_{12}$, meiftens zu $^1/_{10}$ der Länge der gröfsten Diagonale der Grundrifsfigur des zu überwölbenden Raumes gewählt.

Fig. 578.



Die Stirnbogen, alfo die an allen Umfangsmauern des Raumes auftretenden Kämpferlinien des böhmifchen Kappengewölbes (Fig. 577) find Flachbogen.

Hierdurch wird die Anlage von gröfseren Thür- oder Lichtöffnungen in den Widerlagsmauern erleichtert oder auch nach Fig. 578 bei mehrfach an einander gereihten Gewölben die Auflöfung der Widerlagsmauern in Eckpfeiler mit dazwifchen gefpannten Gurtbogen, deren Wölblinien den Stirnbogen *a*, *b* zweckmäfsig angepafft werden, in einfacher Weife möglich.

391. Darftellung.

Für die Darftellung der Laibungsfläche des böhmifchen Kappengewölbes ift, abge-

fehen davon, ob ein Theil einer reinen Kugelfläche oder einer kugelförmigen Fläche als Wölbfläche eingeführt werden foll, die gegenfeitige Höhenlage der tiefften Punkte der Kämpferlinien, alfo der Kämpfer- oder Fufspunkte des Gewölbes vorzufchreiben. Hierfür gelten folgende Annahmen: die fämmtlichen Kämpferpunkte liegen in einer einzigen wagrechten Ebene, der eigentlichen Kämpferebene, oder die Kämpferpunkte liegen in verfchiedenen wagrechten Ebenen. Sollen fämmtliche Kämpferpunkte in einer fchiefen Ebene liegen, fo entfteht das fteigende böhmifche Kappengewölbe. Diefen Annahmen folgend foll die Geftaltung der Laibungsflächen des böhmifchen Kappengewölbes näher befprochen werden.

α) Sämmtliche Kämpferpunkte liegen in einer wagrechten Ebene.

392.
Kugelfläche.

Die Laibungsfläche foll einem Theile einer Kugelfläche angehören.

Läfft fich durch die fämmtlichen Ecken der Grundrifsfigur des zu überwölbenden Raumes ein Kreis legen, welcher als Parallelkreis der ihrem Halbmeffer nach noch näher zu beftimmenden Kugelfläche zu gelten hat, fo gehört diefer Parallelkreis der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes an, und fämmtliche Fufspunkte der Kämpferlinien find Punkte diefes Parallelkreifes.

Ift der Grundrifs des Gewölbes ein Dreieck, ein Quadrat, ein Rechteck oder ein regelmäfsiges Vieleck, fo ift durch die Ecken der Grundrifsfigur ftets ein Kreis zu befchreiben.

393.
Rechteckiger
Grundrifs.

In Fig. 579 ift das Rechteck *abcd* der Grundrifs des Gewölbefeldes und *s* der Mittelpunkt des durch die Ecken *a*, *b*, *c* und *d* gehenden Parallelkreifes. Die beliebig durch *s* geführte, hier mit der Diagonalen *ab* fich deckende Gerade *ab* ift der Durchmeffer diefes Parallelkreifes irgend einer Kugelfläche.

Fig. 579.

Der Mittelpunkt diefer Kugelfläche liegt auf einer in *s* lothrecht auf der Ebene des Parallelkreifes ftehenden Geraden *L*. Trägt man die frei gewählte Pfeilhöhe *se* des Gewölbes auf diefer Lothrechten *L* ab, fo hat man durch die 3 Punkte *a*, *e*, *b* einen Kreis zu legen, deffen Mittelpunkt *m* auf *L* in bekannter Weife zu ermitteln ift. Der Punkt *m* ift der Mittelpunkt der Kugelfläche, welcher die Laibungsfläche des Gewölbes angehört. Der Kreisbogen *aeb*, der fog. Diagonalbogen des böhmifchen Kappengewölbes, ift ein Theil des gröfsten Kreifes der ermittelten Kugelfläche. Die lothrechten Ebenen *cb*

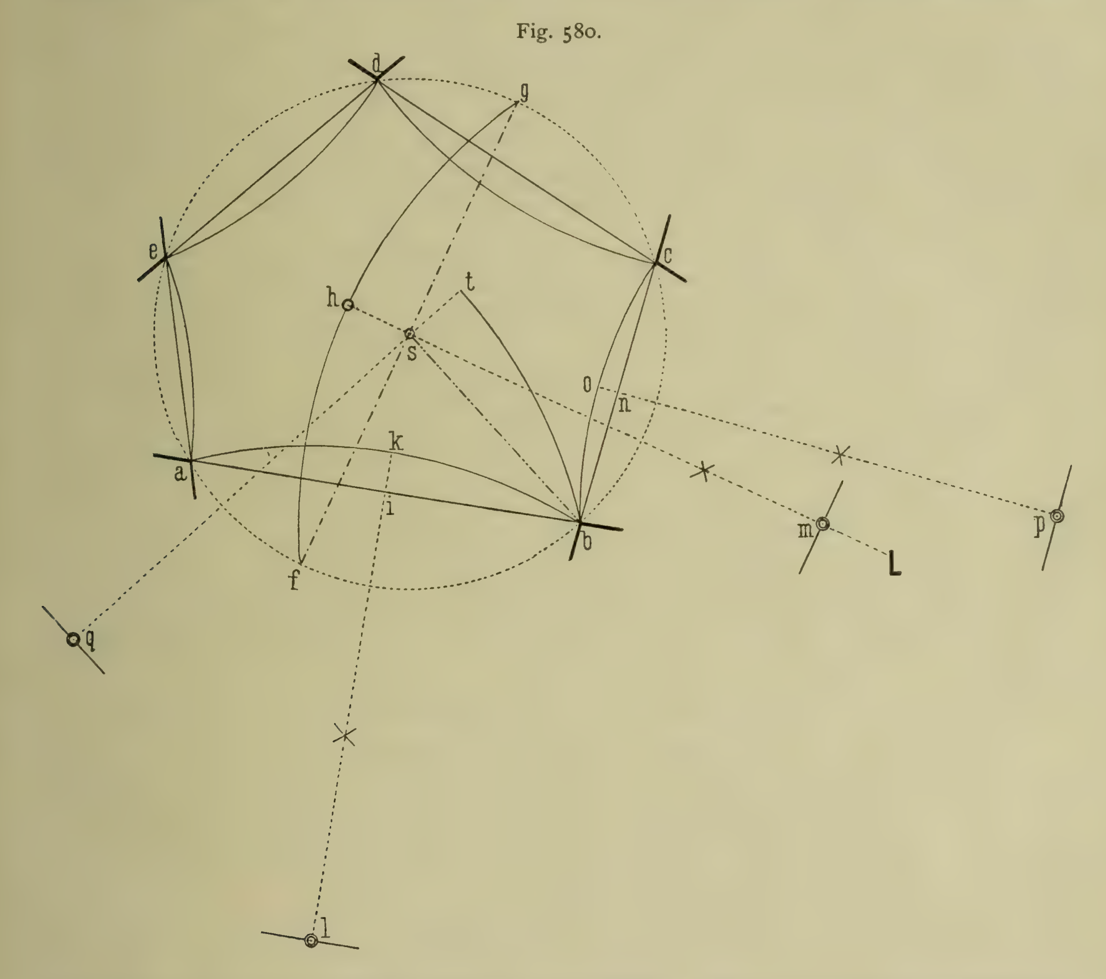
und bd der Widerlager des Gewölbes fchneiden die Kugelfläche nach Kreifen, deren Theile cgb, bezw. bkd die Stirnlinien des Gewölbes an den langen Seiten cb, ad, bezw. an den kurzen Seiten bd, ca des rechteckigen Raumes werden. Errichtet man im Halbirungspunkte f der Seite cb das Loth fh, fo ift, da der Mittelpunkt m der Laibungsfläche des Gewölbes von der wagrechten Kämpferebene den Abftand sm erhalten hat, die Länge $fh = sm$ auf dem Lothe fh abzutragen, um in h den Mittelpunkt für den Stirnbogen cgb zu beftimmen. Die Pfeilhöhe diefes Bogens ift fg.

Für die Ausmittelung des Stirnbogens bkd ift der gleiche Weg zu verfolgen. Hierbei ift $il = fh = sm$ zu nehmen, fo dafs l der Mittelpunkt, ik die Pfeilhöhe diefes Stirnbogens wird.

394.
Vieleckiger Grundrifs.

Ift die Grundrifs-Projection des Gewölbes ein regelmäfsiges Vieleck, fo ift die Beftimmung der Kreisbogen für die Stirnlinien und Diagonalbogen, wie im vorhergehenden Artikel für das Rechteck gezeigt wurde, vorzunehmen. Diefe Beftimmungen

Fig. 580.



find auch beim unregelmäfsigen Vieleck zu treffen, fobald, die gleiche Höhenlage der Kämpferpunkte vorausgefetzt, die Grundrifs-Projection des Gewölbes die Führung eines durch fämmtliche Ecken gehenden Kreifes, wie in Fig. 580 angenommen ift, geftattet.

Diefer durch die Ecken des unregelmäfsigen Fünfecks $abcde$ gelegte Kreis mit dem Mittelpunkte s ift der Parallelkreis der für die Laibung des Gewölbes feft zu legenden Kugelfläche.

Die beliebig durch s geführte Gerade fg ift als eine in der wagrechten Kämpferebene liegende Sehne eines gröfsten Kreifes der Kugelfläche anzunehmen. Auf dem in s auf fg errichteten Lothe L

wird sh als gewählte Pfeilhöhe abgetragen und hiernach der Mittelpunkt m auf L für den durch die 3 Punkte f, h und g gehende Kreis beftimmt. Alsdann ift mh der Halbmeffer der für die weitere Geftaltung des Gewölbes mafsgebenden Kugelfläche.

Für den Stirnbogen der Seite ab ift das im Halbirungspunkte i auf ab errichtete Loth il gleich dem Abftande sm zu nehmen. Der um l mit dem Halbmeffer la befchriebene Kreisbogen akb ift fofort der gefuchte Stirnbogen mit der Pfeilhöhe ik. Der Stirnbogen boc mit der Pfeilhöhe no hat den Mittelpunkt p. Die Länge des in n auf bc errichteten Lothes np ift wiederum gleich $sm = il$.

In gleicher Weife find die Stirnbogen fämmtlicher Seiten des Gewölbes auszutragen. Für irgend einen, z. B. von s nach der Ecke b ziehenden Wölbbogen ift auf dem in s auf bs errichteten Lothe die Strecke $sq = sm$ zu nehmen, um diefen Wölbbogen in dem mit dem Halbmeffer qb um q befchriebenen Kreisbogen bt, deffen Pfeilhöhe st offenbar gleich sh werden mufs, zu erhalten.

395. Kugelförmige Fläche.

Läfft fich durch die Ecken der vieleckigen Grundrifs-Projection des böhmifchen Kappengewölbes kein Kreis legen, follen aber dennoch die fämmtlichen Fufspunkte der Stirnlinien des Gewölbes in feiner wagrechten Kämpferebene bleiben; fo ift die Gewölbelaibung wefentlich nur als kugelförmige Fläche zu geftalten.

In Fig. 581 find die Grundzüge für das Austragen der Stirnbogen, bezw. der vom Scheitel nach den Ecken des Gewölbes ziehenden Wölbbogen bei dem als unregelmäfsiges Viereck $abcd$ angenommenen Grundriffe enthalten.

Zunächft wird die wagrechte Projection s des Scheitelpunktes des Gewölbes beftimmt. In der Regel wählt man hierfür den Schwerpunkt der Grundrifsfläche. Nimmt derfelbe jedoch eine Lage an, welche für die von ihm nach den Ecken a, b, c, d gezogenen Strahlen von einander fehr ftark abweichende Längen ergeben würde, fo verlegt man den Punkt s zur Ausgleichung diefer Längenunterfchiede in entfprechender Weife.

Sodann legt man die Stirnlinien des Gewölbes auf folgendem Wege feft. Sämmtliche Stirnlinien find flache Kreisbogen. Ihre Pfeilhöhen ftehen im geraden Verhältniffe zu ihren Sehnenlängen. Man wählt für irgend eine Seite, z. B. ad, einen flachen Kreisbogen mit der Pfeilhöhe $1e$. In einem Hilfsplane wird unter Benutzung der Schenkel eines beliebigen, hier rechten Winkels $404'$ ein Stück $o1$ gleich der halben Länge $a1$ der Seite ad auf dem einen Schenkel $o4$, die Strecke $o1'$ gleich der Pfeilhöhe $1e$ der Stirnlinie der Seite ad dagegen auf dem anderen Schenkel $o4$ abgetragen und die gerade Linie $11'$ gezogen. Zur Beftimmung der Pfeilhöhe $2f$ der Stirnlinie der Seite ab wird diefelbe im Punkte 2 halbirt, die Länge $a2$ von $o2$ auf dem Schenkel $o4$ abgetragen und durch den Endpunkt 2 diefer Strecke eine Parallele $22'$ zu $11'$ geführt. Der Abfchnitt $o2'$ des Schenkels $o4'$ giebt die gefuchte Pfeilhöhe $2f$ der Stirnlinie der Seite ab. Diefe Stirnlinie ift der durch die 3 Punkte a, f und b gelegte Kreisbogen.

Die Stirnlinien der übrigen Seiten bc und cd find nach demfelben Verfahren zu zeichnen.

Von weiterer befonderer Bedeutung für die Geftaltung der Laibungsfläche des Gewölbes ift die paffende Wahl der durch den höchften Punkt irgend einer Stirnlinie und den Gewölbfcheitel gehenden Wölblinie. Zweckmäfsig wird hierfür ein Kreisbogen gewählt; feine Pfeilhöhe ift gröfser zu nehmen, als die bereits beftimmte Pfeilhöhe des weiteften Stirnbogens anzeigt.

Je nachdem nun von vornherein eine beftimmte Pfeilhöhe für das Gewölbe vorgefchrieben ift oder nicht, können folgende Beftimmungen für die durch den Gewölbfcheitel gehende Wölblinie getroffen werden.

Bleibt der Gewölbpfeil noch willkürlich, fo legt man der Richtung der längften Seite der Grundrifsfigur, z. B. cd, entfprechend, eine Gerade A durch s und durch den Halbirungspunkt 1 oder 3 der mit diefer längften Seite zufammentreffenden Seiten da oder cb. In der Zeichnung ift der Punkt 1 angenommen. Die Gerade A foll in der wagrechten Kämpferebene liegen und als Spur einer lothrechten Ebene angefehen werden, welche in ihrem Schnitte mit der Gewölbfläche die vorhin erwähnte Wölblinie als Kreisbogen liefern foll.

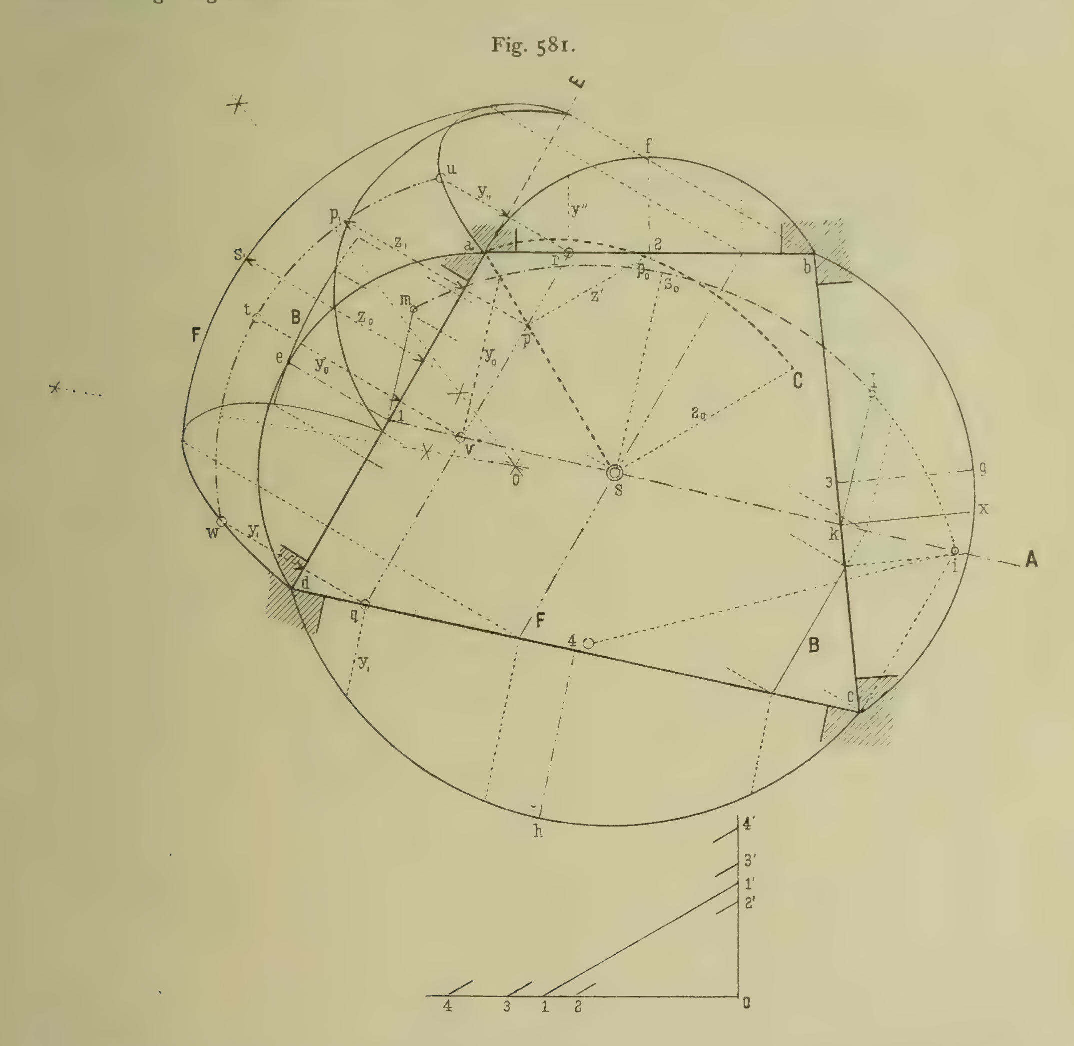
Die Ebene fchneidet den Stirnbogen der Seite ad in e und den Stirnbogen der Seite bc in x. Errichtet man in 1 und 3 Lothe auf A, nimmt man $1m = 1e$ und $kl = kx$, fo find m und l zwei fefte Punkte der gefuchten, bis zur Kämpferebene niedergedrehten Wölblinie. Projicirt man parallel zur

Seite *ad* den Endpunkt *c* der längften Seite *cd* nach *i* auf *A*, fo ift hierdurch ein dritter Punkt diefer Wölblinie beftimmt. Der durch die 3 Punkte *m*, *l* und *i* gelegte Kreisbogen ftellt fie feft; ss_0 ift ihre Pfeilhöhe.

Wird dagegen die Pfeilhöhe diefer Wölblinie vorweg angenommen, fo hat man in *s* auf *A* das Scheitelloth zu errichten und auf diefem die gegebene Pfeilhöhe abzutragen. Der durch die beiden feften Punkte *m*, *l* und durch den höchften Punkt des Scheitellothes gelegte Kreisbogen, welcher natürlich hierbei vom Punkte *i* unabhängig ift, wird alsdann die gefuchte Wölblinie in der in *A* ftehenden lothrechten Ebene.

Mit Hilfe der Stirnlinien und der Wölblinie *mli*, bezw. ms_0l kann die weitere Ausmittelung der Gewölbelaibung vorgenommen werden.

Fig. 581.



Legt man durch den beliebigen Punkt *v* der Geraden *A* parallel zur Seite *ad*, welche als Ausgangsfeite für die zeichnerifchen Darftellungen gewählt wurde, eine lothrechte Ebene mit der wagrechten Spur *qr*, fo erzeugt diefelbe auf der Laibungsfläche den Schnitt *wtu*, welcher als der durch die 3 Punkte *w*, *t* und *u* geführte Kreisbogen mit dem Mittelpunkte *o* beftimmt werden kann. Die Punkte *w*, *t* und *u* find ihrer Lage nach bekannt. Für *w* ift $dw = y_1$ des Stirnbogens *dhc*; für *t* ift $1t = y_0$ der Wölblinie ms_0l, und für *u* ift $y_{,,}$ des Stirnbogens *afb* mafsgebend. Auf demfelben Wege find auch die Kreisbogen *F* und *B* für die parallel zur Seite *ad* aufgeftellten lothrechten Ebenen mit den im Grundriffe gezeichneten wagrechten Spuren *F*, bezw. *B* leicht zu ermitteln.

Eben fo einfach ift ferner das Austragen irgend einer vom Gewölbefcheitel nach einer Gewölbecke ziehenden Wölblinie. Die Bogenlinie *C* ift für die Richtung *sa* eingetragen. Für diefelbe ift die Länge

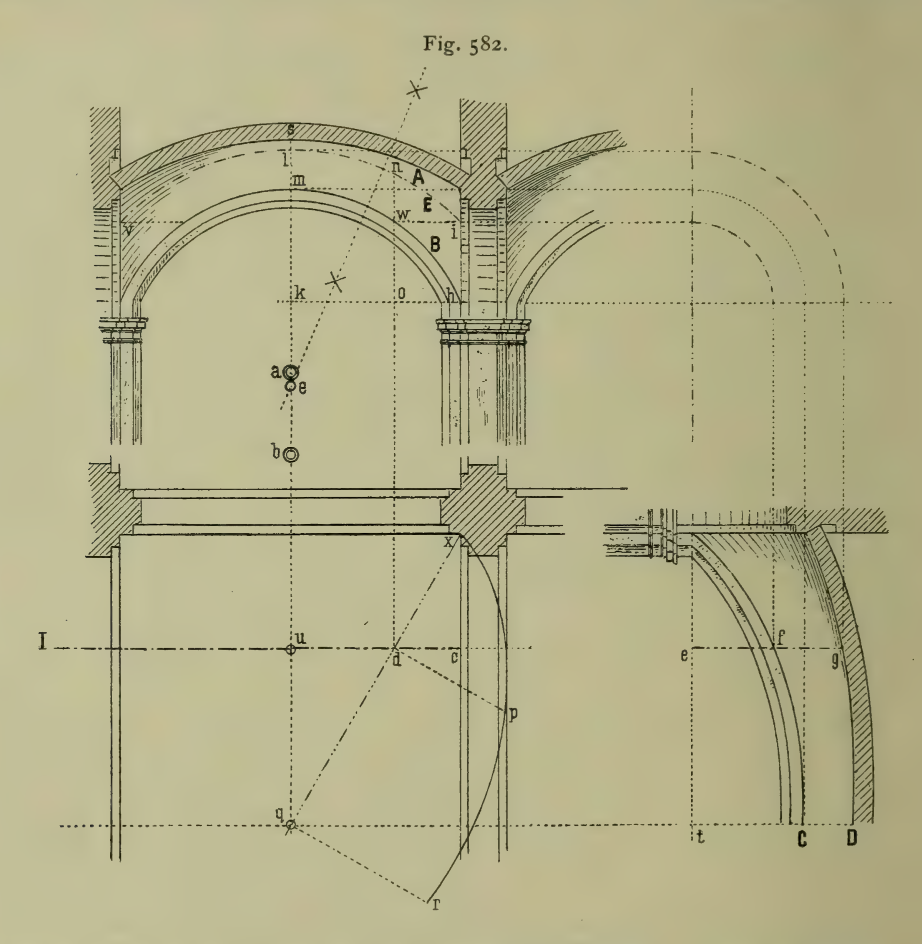
des in s auf as errichteten Lothes $sC = ss_0$, die Länge der in p auf as fenkrecht ftehenden Linie pp_0 gleich der Ordinate z, der Schnittlinie wtu u. f. f. Für die Bogenlinien nach sb, sc u. f. f. gelten diefelben Mafsnahmen. Mittels lothrechter, parallel zu ad aufgeftellter Ebenen werden die zugehörigen Schnittlinien der Laibungsfläche feft gelegt und hiernach einzelne Punkte diefer gefuchten Bogenlinie ermittelt.

396. Gleich hohe Stirnbogen: Anordnung I.

Wird bei rechteckigem Grundriffe des böhmifchen Kappengewölbes die Forderung geftellt, alle Stirnbogen mit gleicher Pfeilhöhe einzuführen, fo kann die kugelförmige Geftaltung der Laibungsfläche nach Anleitung von Fig. 582 bewirkt werden.

Der Stirnbogen der fchmalen Rechtecksfeite fei der um a befchriebene flache Kreisbogen B mit der Pfeilhöhe km. Der Stirnbogen C der langen Seite erhält diefelbe Pfeilhöhe $tC = km$. Diefer Stirnbogen C ift ein Stück einer Ellipfe, wofür einzelne Punkte, z. B. f, auf bekanntem, auch aus der

Fig. 582.



Zeichnung zu erfehenden Wege gefunden werden können. Die Wölblinie der durch den Scheitel s, deffen wagrechte Projection in der Kämpferebene der Punkt q ift, parallel zur fchmalen Rechtecksfeite geführten lothrechten Ebene fei der um b befchriebene Kreisbogen A, während die Wölblinie D in der durch den Gewölbefcheitel parallel zur langen Rechtecksfeite geführten lothrechten Ebene als flacher Kreisbogen, wobei jedoch $tD = ks$ und die Höhenlage des Anfchlufspunktes an der fchmalen Stirnfeite gleich der Höhe tC über der Kämpferebene fein mufs, gewählt werden möge. Nach diefen gegebenen Beftimmungsftücken läfft fich die kugelförmige Laibung des Gewölbes in folgender Weife ermitteln.

Man führt an beliebiger Stelle parallel zur Ebene des Stirnbogens B eine lothrechte Ebene I durch die Gewölbfläche. Diefelbe fchneidet die Stirnbogen C der langen Rechtecksfeiten in f. Die Ordinate diefes Punktes ift ef.

Wird durch f eine wagrechte Ebene gelegt, fo erhält man in der Aufrifs-Projection unterhalb A die Punkte i und v. Die Ebene I fchneidet die Scheitellinie D in g. Trägt man eg von k nach l, fo

kann man durch die 3 Punkte i, l, v einen Kreisbogen E mit dem Mittelpunkte e legen, welcher als Erzeugende der kugelförmigen Laibung des Gewölbes für die Ebene I auftritt. Genau fo find für verfchiedene, parallel zur fchmalen Rechtecksfeite aufgeftellte lothrechte Ebenen die zugehörigen Wölblinien oder Erzeugenden der Wölbfläche zu beftimmen. Für das Austragen des Diagonalbogens rx über qx ift fofort $qr = ks$ und $dp = on$, wie aus der Zeichnung zu erfehen, zu verwenden.

Fig. 583.

397.
Anordnung
II.

Eine zweite Art der Geftaltung kugelförmiger Gewölbelaibung für böhmifche Kappengewölbe, deren Stirnbogen gleich grofse Pfeilhöhen erhalten follen, kann bei rechteckigem Grundriffe in vortheilhafter Weife nach Fig. 583 zur Anwendung kommen.

Die Stirnbogen der Rechtecksfeiten find als flache Kreisbogen A, bezw. B mit gleicher Pfeilhöhe mx gewählt. Läfft man den Stirnbogen A, ftets in einer loth-

rechten Ebene parallel mit der fchmalen Rechtecksfeite bleibend, auf den Stirnbogen B der langen Seiten ftetig fortrücken, wie der Plan P mit der Scheibe S, deren obere Begrenzung dem Stirnbogen A entfprechen würde, näher angiebt, fo entfteht eine befondere Gewölbelaibung, deren Eigenfchaften für die Ausführung des böhmifchen Kappengewölbes nicht ungünftig find.

Eben fo hätte man auch umgekehrt den Stirnbogen der langen Rechtecksfeite zur Erzeugung der Laibungsfläche benutzen können.

Zur weiteren Ausmittelung der Beftimmungsftücke diefer Gewölbelaibung ift das Nöthige fofort aus der Zeichnung zu entnehmen.

Der Schnitt in der Richtung EF giebt als Scheitellinie den Kreisbogen C gleich dem Kreisbogen A. Der Abftand ac diefer beiden Bogen ift gleich der Pfeilhöhe mx der Stirnbogen überhaupt. Im Schnitte nach GH ift die Scheitellinie ein Kreisbogen, deffen Halbmeffer $yx_{,,}$ gleich dem Halbmeffer $bm_{,,}$ des Stirnbogens B ift. Der Abftand by der beiden Mittelpunkte ift gleich $mx = m_{,,}x_{,,}$.

Ein Schnitt in der Richtung D_0 liefert den Kreisbogen D mit dem Halbmeffer $di = ax$. Der Abftand ad der Mittelpunkte der beiden Kreisbogen A und D ift durch die Ordinate i des Stirnbogens B im Schnitte GH zu beftimmen.

Der Diagonalbogen ge über fe wird durch Ordinaten, wie $fg = m\,C$, $lk = l_{,}k_{,}$ u. f. f., unter Verwerthung des Schnittes EF leicht feft gelegt.

Führt man durch einen beliebigen Punkt z des Diagonalbogens ge eine Normalebene mit den Spuren N und Jr, fo erhält man auf dem aus der Zeichnung zu erkennenden Wege, welcher auch bereits z. B. in Art. 305 (S. 444) bei Fig. 508 angegeben ift, die wagrechte Projection t, n, q, w und die lothrechten Projectionen $t_{,}$, $q_{,}$, $w_{,}$ bezw. $t_{,,}$, $q_{,,}$, $w_{,,}$ der Schnittlinie, welche diefe Normalebene auf der Gewölbelaibung hervorruft.

Bei der Befprechung der Ausführung des böhmifchen Kappengewölbes (unter c) werden diefe Schnittlinien noch weitere Berückfichtigung finden.

398.
Ellipfoidifche Fläche.

Statt der reinen Kugelfläche oder der kugelförmigen Fläche kann die Laibung des böhmifchen Kappengewölbes auch eine ellipfoidifche Fläche fein.

Wird die in einer wagrechten Ebene angenommene Ellipfe G (Fig. 584) mit der halben grofsen Axe mo und der halben kleinen Axe ml, wie dies meiftens der Fall, um ihre fefte grofse Axe gedreht, fo entfteht eine ellipfoidifche Umdrehungsfläche. Jeder Punkt l, I u. f. f. der erzeugenden Ellipfe bewegt fich während der Drehung auf einem Kreife. Berückfichtigt man nur die oberhalb der wagrechten Meridianebene nE liegende Hälfte diefer Umdrehungsfläche, fo kann diefelbe für die Geftaltung des böhmifchen Kappengewölbes mit ellipfoidifcher Laibung ohne Schwierigkeit benutzt werden.

Legt man parallel zu den Halbaxen mo und ml die Seiten eines Rechteckes $abcd$ als Grundrifsfigur des Gewölbes in der Weife ein, dafs die Ecken a, b, c, d nicht in die Ellipfe fallen, fondern von m gleichen Abftand $ma = mb = mc = md$ erhalten, fo werden die in den Rechtecksfeiten aufgeftellten lothrechten Stirnebenen des Gewölbes die ellipfoidifche Umdrehungsfläche nach beftimmten Stirnlinien fchneiden, und der oberhalb diefer Stirnlinien verbleibende Theil der Umdrehungsfläche ift die zu verwendende Gewölbfläche.

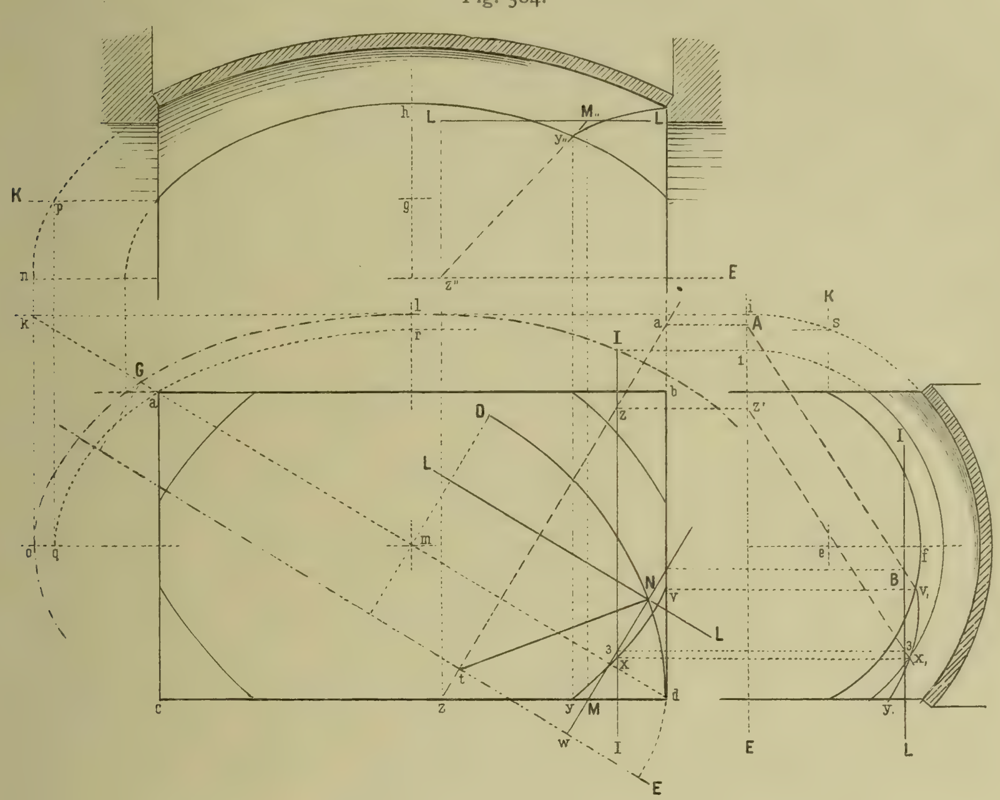
Ift $abcd$ das gegebene Rechteck, fo fei für die fchmale Rechtecksfeite bd, bezw. ac ein flacher Kreisbogen mit der Pfeilhöhe ef in Rückficht auf die Kämpferebene gewählt. Die Scheitellinie in der lothrechten Ebene ml ift als ein zum Stirnbogen concentrifcher Kreisbogen zu nehmen. Gehörig erweitert, trifft diefe Scheitellinie die Kämpferebene K in s und die wagrechte Meridian- oder jetzt die Grundebene in i. Erweitert man in der Grundebene die Diagonale da des gegebenen Rechteckes, zieht man durch i die Gerade ik parallel zu ab und hierauf ko parallel zu ac,

ſo erhält man in ml die halbe kleine Axe und in mo die halbe groſse Axe der erzeugenden Ellipſe G, welche hiernach in der Meridianebene der Umdrehungsfläche gezeichnet werden kann. Nunmehr ſind alle Stücke gegeben, um die ellipſoidiſche Laibung des Gewölbes zu bilden.

Der Stirnbogen der Seite ab iſt ein leicht darzuſtellendes Ellipſenſtück mit der Pfeilhöhe $gh = ef$. Die Scheitellinie in der Richtung mo entſpricht der erzeugenden Ellipſe. Aus der Zeichnung iſt hierfür das Nähere ſofort erſichtlich.

Auch der Diagonalbogen D gehört einem Ellipſenſtücke an. Die halbe groſse Axe für die erforderliche Ellipſe des Diagonalbogens iſt gleich mG, und die halbe kleine Axe iſt wiederum gleich ml.

Fig. 584.



Der für den Diagonalbogen D gezeichnete Normalſchnitt der Normalebene mit den Spuren Nt und ta liefert auf der Gewölbfläche die Curve, deren wagrechte Projection vxy und deren lothrechte Projection $v, x, y,$ in bekannter Weiſe mit Hilfe der lothrechten Schnitte nach bd, II und ab, ſo wie der wagrechten Geraden L, wie aus der Zeichnung hervorgeht, zu finden iſt.

Bemerkt ſei noch, daſs in der Kämpferebene durch die Ecken a, b, c, d eine Ellipſe gelegt werden kann, deren halbe groſse Axe in mq, deren halbe kleine Axe in mr erhalten wird.

β) Die Kämpferpunkte liegen in verſchiedenen wagrechten Ebenen.

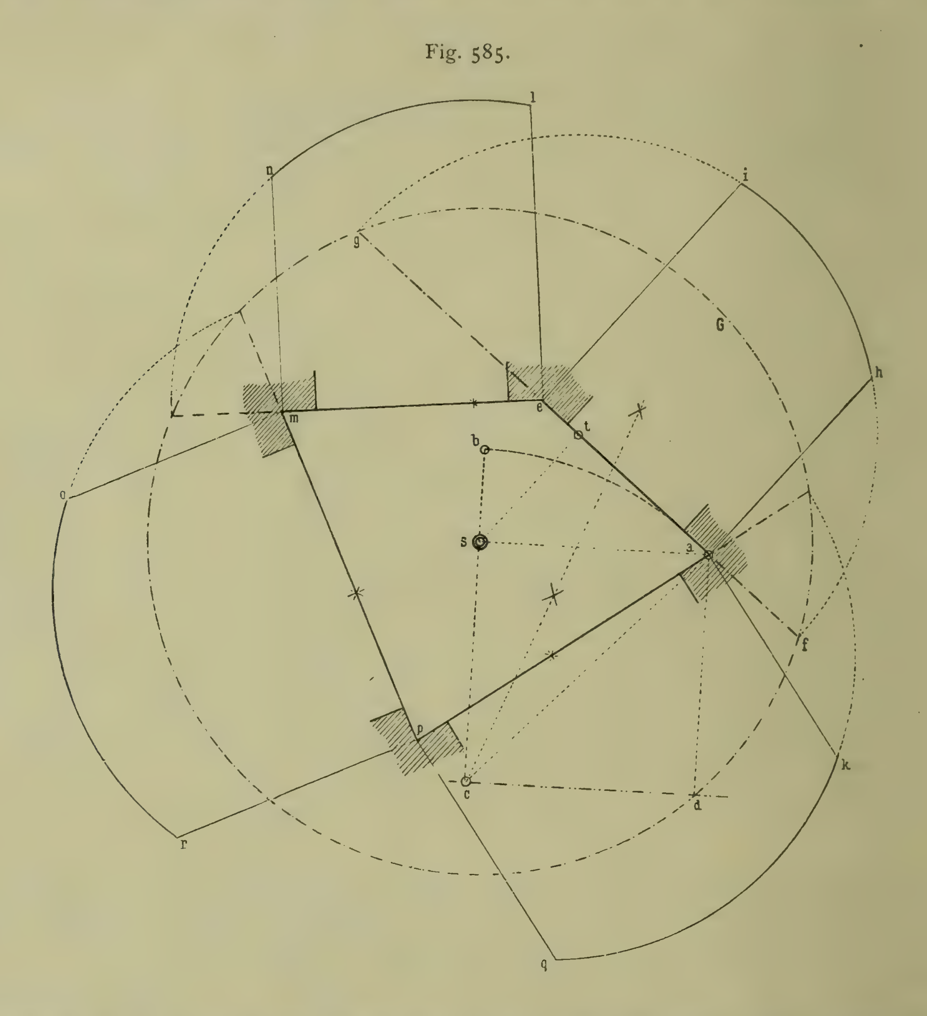
399. Kugelfläche.

Böhmiſche Kappengewölbe mit ungleich hoch gelegenen Fuſspunkten der Stirnlinien zeigen meiſtens kein ſchönes Ausſehen. Iſt man genöthigt, über unregelmäſsigen Grundriſſen mehr untergeordneter Räume das böhmiſche Kappengewölbe als Raumdecke zu verwenden, ſo iſt es angezeigt, einen Theil der reinen Kugelfläche als Laibungsfläche des Gewölbes zu benutzen und von der ellipſoidiſchen Fläche ganz abzuſtehen.

In diefem Falle ift die Ausmittelung der Stirnlinien und der vom Scheitelpunkte nach den Fufspunkten diefer Stirnlinien gerichteten Wölblinien in einfacher Weife nach Fig. 585 vorzunehmen.

Das unregelmäfsige Viereck *aemp* fei der Grundrifs des Gewölbes. Der Schwerpunkt *s* der Grundrifsfläche möge die wagrechte Projection des Gewölbefcheitels fein. Die Wölblinie *ab*, welche vom Fufspunkte *a* bis zum Gewölbefcheitel zieht, ift als Kreisbogen bei der angenommenen Pfeilhöhe *sb* um *c* als Mittelpunkt, der auf der gehörig verlängerten Geraden *sb* liegt, mit dem Halbmeffer *ca* befchrieben. Diefer

Fig. 585.



Halbmeffer wird, fobald feine Gröfse nicht kleiner, als die Länge irgend eines anderen Eckftrahles *sm* oder *sp* u. f. f. ift, fofort auch als Halbmeffer der Kugelfläche, welcher die Laibung des Gewölbes entnommen werden foll, beibehalten. Der um *s* mit dem Halbmeffer *ca* befchriebene Kreis *G* ift der in der wagrechten Grundebene *cd* liegende gröfste Kreis der Kugel.

Würde derfelbe zum Theile in die Grundrifsfigur fallen, fo müffte die Pfeilhöhe *sb* der Wölblinie *ab* entfprechend verkleinert werden.

Der Mittelpunkt der Kugel liegt in einem lothrechten Abftande *sc* unter der durch *a* geführten wagrechten Ebene.

Um den Stirnbogen der Seite ae auszutragen, erweitert man ae, bis der gröfste Kreis G in f und g gefchnitten wird. Der um t befchriebene Halbkreis $ghif$ ergiebt in hi die gefuchte Stirnlinie. Der Punkt t ift bekanntlich auch der Fufspunkt des von s auf ae gefällten Lothes.

Auf demfelben Wege find die fämmtlichen Stirnlinien zu ermitteln. Die Seiten ae, em u. f. f. können für die einzelnen Stirnlinien ohne Weiteres als in der Grundebene G liegend betrachtet werden, fo dafs $ah = ad = ak$, $ei = el$, $mn = mo$, $pr = pq$ gefunden und hiernach die gegenfeitige Höhenlage der Fufspunkte der an den Ecken des Gewölbes zufammentretenden Stirnlinien beftimmt wird. Die Wölblinien über se und sm find gleichfalls mit Hilfe des gröfsten Kreifes G auf dem befchriebenen Wege zu erhalten.

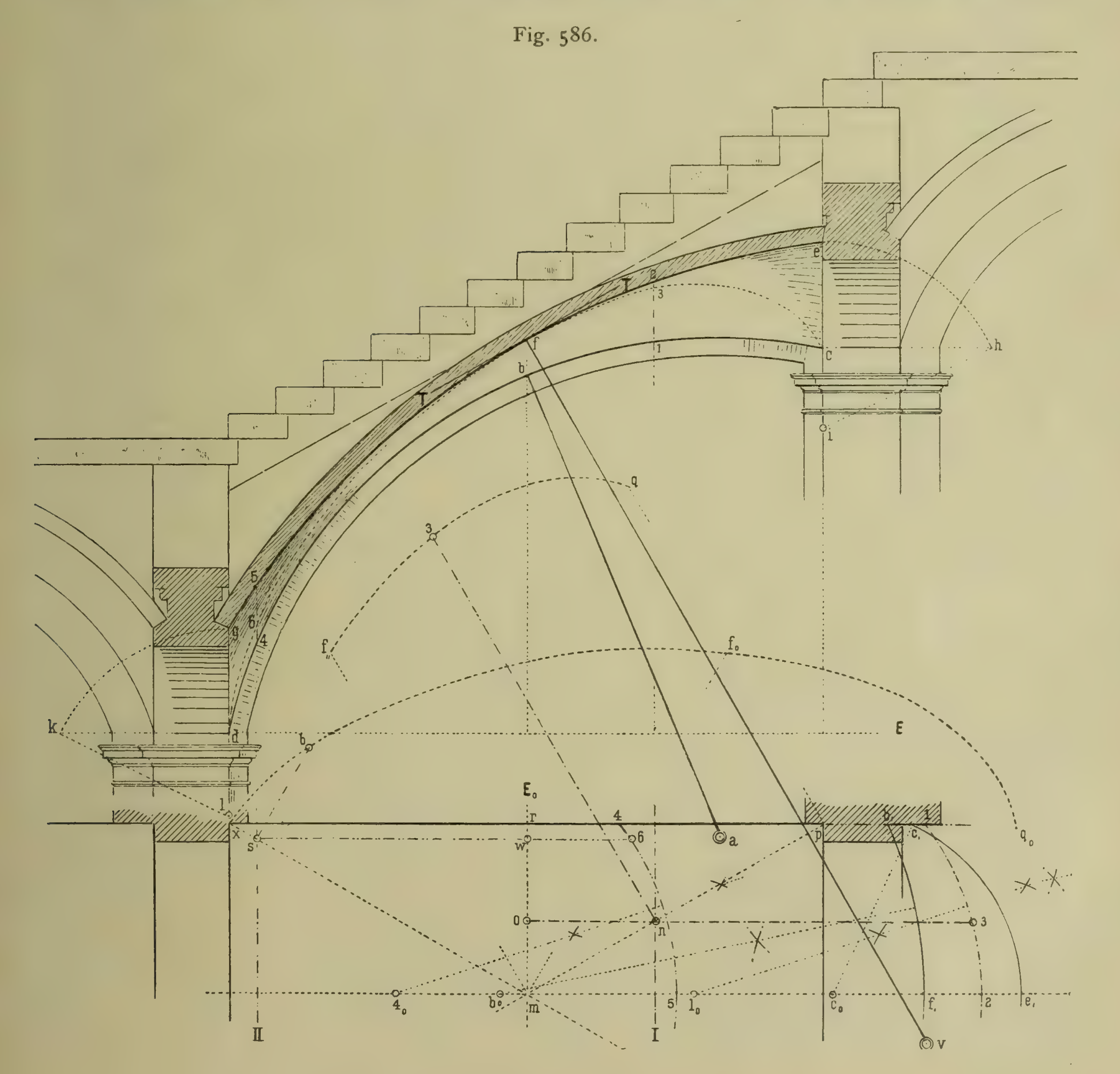
γ) Die Kämpferpunkte liegen in einer fchiefen Ebene.

400. Steigende böhmifche Kappen: Anordnung I.

Bei anfteigenden böhmifchen Kappengewölben, welche meiftens nur über rechteckigem oder quadratifchem Gewölbefelde ausgeführt werden, liegen die Fufspunkte der beiden anfteigenden Stirnbogen in einer fchiefen Ebene, während die Fufspunkte der anderen beiden Stirnbogen je für fich in einer wagrechten Ebene enthalten find. Die Laibungsflächen diefer Gewölbe werden kugelförmig geftaltet.

Entfprechend der für die Hauptfcheitellinie ge feft gelegten Tangente TT, deren Richtung einer vorweg beftimmten Steigungslinie, z. B. derjenigen eines

Fig. 586.



Treppenlaufes in Fig. 586, zugewiefen ift, wird auf dem in f auf TT errichteten Lothe fv der Punkt v aufgefucht, welcher als Mittelpunkt für den durch den feften Punkt g und den Berührungspunkt f gehenden Kreisbogen gfe gilt. Der Punkt f ift vorweg als lothrechte Projection des Schnittes m der Diagonalen des rechteckigen Gewölbefeldes auf TT zu beftimmen. Der Punkt g ift feiner Lage nach durch den gewählten Stirnbogen gk mit dem Halbmeffer lk und der Pfeilhöhe dg bekannt.

Der Scheitelbogen gfe trifft die Stirnfeite ie in e. Diefer Punkt ift Scheitelpunkt des Stirnbogens an der oberen fchmalen Rechtecksfeite. Diefer Stirnbogen befitzt, wie der Bogen gk, die Pfeilhöhe $ec = dg$ und den Halbmeffer $ih = lk$. Durch die Punkte d und c find die Fufspunkte der anfteigenden Stirnlinie des Gewölbes nunmehr gegeben. Wählt man auf der Lothrechten mf die an fich fonft beliebige Höhe bf derart, dafs b mäfsig tiefer als c fällt, fo ift durch die 3 Punkte c, b, d der als anfteigende Stirnlinie auftretende Kreisbogen zu legen. In der Zeichnung ift a fein Mittelpunkt.

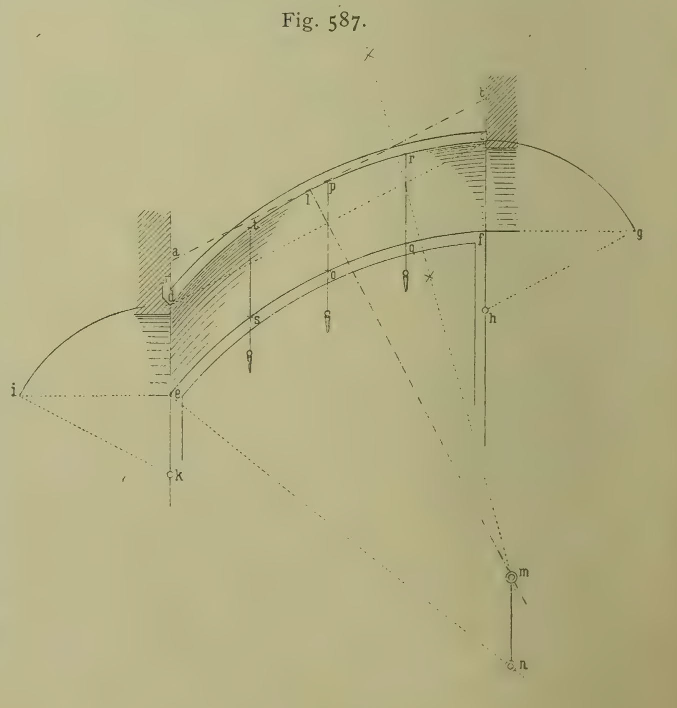
Hierdurch find alle für die Geftaltung des anfteigenden böhmifchen Kappengewölbes mit kugelförmiger Laibung erforderlichen Grundlagen gefchaffen. Von Wichtigkeit ift das Austragen der Wölblinien oder Diagonalbogen über xm und pm.

Legt man parallel zu den fchmalen Stirnfeiten durch den Schnitt m der Diagonalen eine lothrechte Ebene, deren wagrechte Spur E_0 ift, fo fchneidet diefelbe den Stirnbogen cd in b und den Scheitelbogen ge in f. Nimmt man im Grundriffe $rb_{,}$ gleich der lothrechten Entfernung des Punktes b von der im Aufriffe gezeichneten wagrechten Linie E und eben fo $mf_{,}$ gleich der lothrechten Entfernung des Punktes f von der Linie E, fo kann man unmittelbar im Grundriffe auf der die Breite des Gewölbefeldes halbirenden Geraden $mf_{,}$ den Mittelpunkt b_0 des durch $b_{,}$ und $f_{,}$ gehenden Kreisbogens beftimmen. Diefer Kreisbogen ift in die wagrechte Ebene niedergelegt und giebt die Hälfte der Wölblinie, welche für die in E_0 aufgeftellte lothrechte Ebene in Frage kommt. Für die lothrechte Ebene mit der wagrechten Spur I ergeben fich im Aufrifs auf den beiden Bogen cd und eg die Punkte 1, bezw. 2. Im Grundriffe find die Abftände diefer Punkte von der Linie E als $r1$, bezw. $m2$ abgetragen, und weiter ift mittels des auf der Geraden $mf_{,}$ gefundenen Mittelpunktes l_0 wiederum die für die in I aufgeftellte Ebene geltende Wölblinie als Kreisbogenftück 12 gezeichnet. In gleicher Weife find die Wölblinien für beliebig viele fchneidende Ebenen II u. f. f., welche lothrecht und parallel zur Ebene E_0 genommen werden, zu beftimmen.

Für den Diagonalbogen xm wird nun z. B. $sb = w6$ und $mf_0 = mf_{,}$. Ferner wird für den Diagonalbogen pm $mf_{,,} = mf_{,}$, $n3 = o3$ und $pq = rc_{,}$.

Der ganze in der Richtung xm ziehende Diagonalbogen ift hiernach als Wölblinie xbf_0q_0 zu beftimmen. In der Aufrifs-Projection ift die Curve $d6f3c$ die Darftellung der Diagonalbogen über xm und mp. Je zahlreicher man die vorhin erwähnten lothrechten Schnitte nimmt, um fo genauer ift das Austragen der Diagonalbogen zu bewirken.

Fig. 587.



Wäre der anfteigende Stirnbogen dbc von vornherein gegeben, fo ift die Scheitel-

linie *ge* in paffender Weife zu wählen. Hierdurch tritt aber im Feftlegen der Wölbfläche an fich keine wefentliche Aenderung der befchriebenen Mafsnahmen ein.

401. Anordnung II.

Eine andere Geftaltung der Laibungsfläche des anfteigenden böhmifchen Kappengewölbes ift in Fig. 587 veranfchaulicht. Diefelbe entfpricht vollftändig den in Art. 397 (S. 539) gegebenen Anordnungen. Der Stirnbogen der fchmalen Rechtecksfeite wird, wie dort erklärt, einfach ftets fich parallel bleibend und lothrecht ftehend an den beiden auffteigenden Stirnbogen der langen Rechtecksfeiten fortgeführt. Derart geftaltete Laibungsflächen find für die Ausführung der anfteigenden böhmifchen Kappengewölbe zu empfehlen, weil diefelben unter Benutzung von Rutfchbogen, welche bereits in Art. 160 (S. 230) Erwähnung gefunden haben, gewölbt werden können.

b) Stärke der böhmifchen Kappengewölbe und ihrer Widerlager.

402. Stabilität der Kappen.

Das böhmifche Kappengewölbe gehört der Gruppe der Kuppelgewölbe an. Die Gefichtspunkte, welche bei der Ermittelung der Stärke diefer Gewölbe nebft ihren Widerlagern zu beobachten find, bleiben auch beim böhmifchen Kappengewölbe beftehen, gleichgiltig ob die Laibungsfläche als reine Kugelfläche oder als kugelförmige Fläche ausgebildet ift.

Die Stärke der böhmifchen Kappen ift bei den üblichen in Wohnräumen vorkommenden Belaftungen und ihren an fich mäfsigen Spannweiten felten gröfser als 1/2 Backfteinlänge. Bei befonders grofsen Spannweiten, bezw. bei erheblich ftarken Belaftungen ift die Vornahme der ftatifchen Unterfuchung der Kappen und die darauf geftützte Berechnung der Gewölbftärke zu empfehlen.

Diefe Unterfuchung und Beftimmung der Gewölbftärke ift ganz nach den Angaben auszuführen, welche in Art. 322 bis 325 (S. 469 bis 476) für die bufigen Gewölbkappen gothifcher Kreuzgewölbe enthalten find.

403. Stabilität der Widerlager.

Mögen Gurtbogenftellungen oder gefchloffene Umfangsmauern als Widerlagskörper des böhmifchen Kappengewölbes in Anwendung gebracht werden, fo richtet fich die Stabilitätsunterfuchung diefer Stützkörper wiederum zunächft nach den in Art. 328 (S. 479) gegebenen Erörterungen. Die hierdurch bekannt gewordenen äufseren angreifenden Kräfte, welche vom Gewölbe auf die Widerlager übertragen werden, find fodann im Sinne des in Art. 256 bis 258 (S. 378 bis 381) bei der Prüfung der Standfähigkeit der Stützkörper Vorgeführten in Betracht zu ziehen.

404. Empirifche Regeln: Stärke der Kappen.

In den meiften Fällen der praktifchen Ausführung des böhmifchen Kappengewölbes können die durch Erfahrung feft geftellten Abmeffungen der Gewölbftärke und der Stärke der Widerlager beibehalten werden.

Wird die Pfeilhöhe des böhmifchen Kappengewölbes nahezu gleich 1/10 der Diagonale der Grundrifsfigur genommen, fo ift die Gewölbftärke bis 5 m Spannweite gewöhnlich gleich 1/2 Backftein. Bei gröfserer Spannweite, welche aber 7 m felten überfchreitet, wird die Pfeilhöhe zweckmäfsig zu 1/7 bis 1/8 der Diagonale feft gefetzt und die Gewölbftärke am Scheitel zu 1/2 Backftein, am Widerlager bis zu 1 Backftein angenommen. Dabei ift eine Ausmauerung der Gewölbzwickel anzurathen.

405. Widerlagsftärke.

Die Stärke der Widerlager beträgt bei der üblichen Höhe derfelben etwa 1/4 bis 1/5 der gröfsten Spannweite des Gewölbes, nie aber unter 2 1/2 Stein. Treten mehrere, durch Gurtbogen von einander gefchiedene, vollftändig gleichartig geftaltete böhmifche Kappengewölbe in Reihen neben einander auf, fo genügen meiftens 1 1/2 Stein breite und 1 1/2 bis 2 Stein ftarke Gurtbogen.

c) Ausführung der böhmifchen Kappengewölbe.

406.
Material.

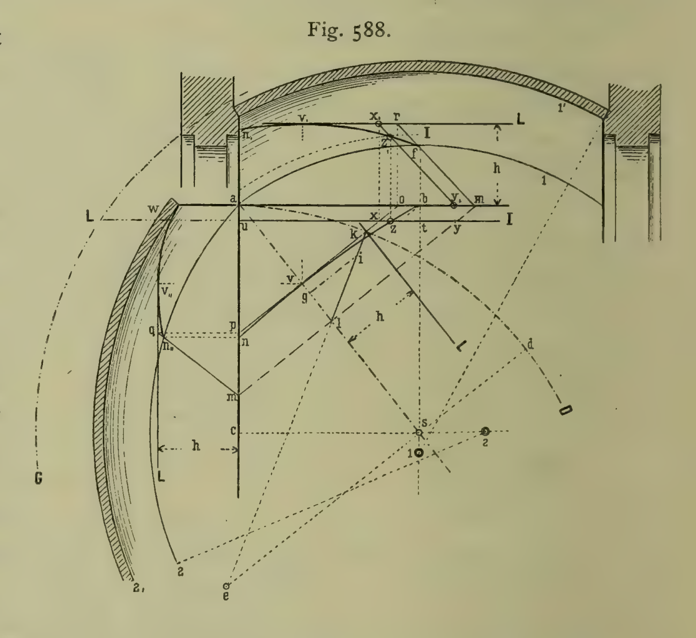
Als Wölbmaterial für das böhmifche Kappengewölbe werden faft ausfchliefslich Backfteine und gut bindender Mörtel benutzt.

407.
Einrüftung.

Das Einwölben erfolgt freihändig. Beim Wölben dienen als Lehre nur aus leichten Brettern angefertigte Wölbfcheiben, welche vom Scheitel nach den Ecken des Gewölbes aufgeftellt, als fog. Diagonalbogen die allgemeine Geftaltung der Gewölbfläche anzeigen. An den Widerlagskörpern werden die Stirnlinien oft nur mit Kohle oder Kreide genau vorgezeichnet und die Widerlagsflächen hier mäfsig eingearbeitet, fo dafs diefes Syftem der Stirnlinien in Gemeinfchaft mit den Diagonalbogen, bezw. Wölbfcheiben hinreichende Mittel zur richtigen Ausführung der Wölbung gewährt. Nur in befonderen Fällen werden auch aufser den Diagonalbogen noch leichte Wölbfcheiben, vom Scheitel aus rechtwinkelig nach den Widerlagern gerichtet, aufgeftellt.

Das Einwölben erfolgt aus allen Gewölbeecken gleichzeitig nach Art des Schwalbenfchwanz-Verbandes in einzelnen von den Stirnlinien des Gewölbes freihändig über die Diagonalbogen hinweggeführten Schichten mit Backfteindicke und $^1/_2$ Stein, bezw. 1 Stein Höhe. Gut bindender Mörtel bedingt die möglichft innige Verkittung der forgfältig beim Vermauern angenäfften Steine. Zuletzt bleibt eine nahezu quadratifche Oeffnung für das Einfetzen des Schlufsfteins.

Fig. 588.

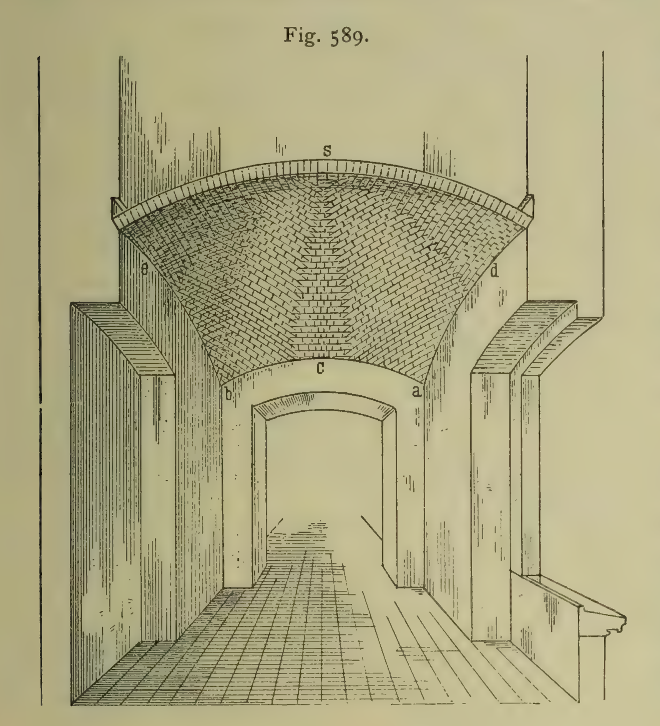


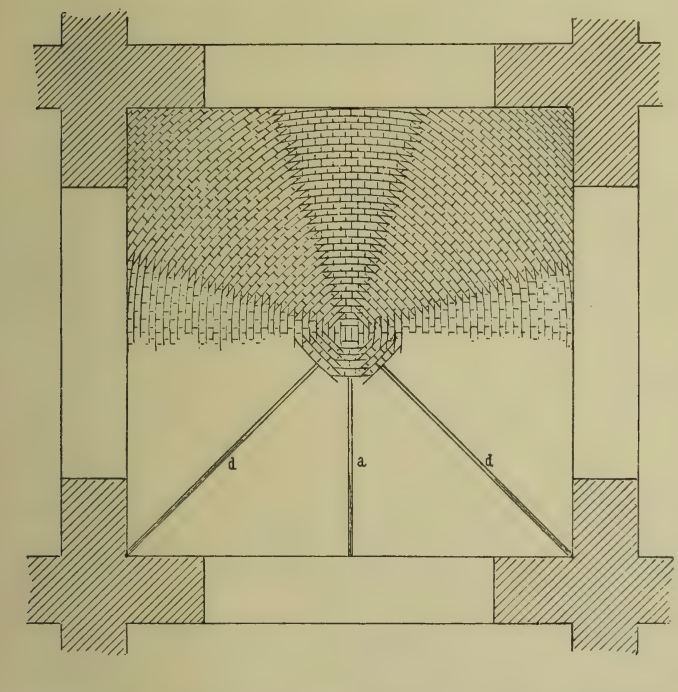
Genau genommen follen die Lagerkanten der einzelnen Wölbfchichten ftets in Normalebenen zu den Diagonalbogen liegen. In Fig. 588 ift für das böhmifche Kappengewölbe über rechteckigem Grundrifs mit den Stirnlinien *1a*, *2a* und dem Diagonalbogen *D* für die Normalebene mit den Spuren *xl* und *mm* nach der in Art. 305 (S. 444) gegebenen Anleitung und auf dem aus der Zeichnung deutlich zu entnehmenden Wege die Darftellung der wagrechten Projection *nvzb* und der lothrechten Projectionen $f z_, v_, n_,$ bezw. $n_{,,} v_{,,} w$ der zugehörigen Lagerkante vorgenommen. Würde für das Wölbgebiet *absc* eine Schaar folcher Lagerkanten beftimmt und diefe Schaar in fymmetrifcher Anordnung auf die noch übrigen drei Wölbgebiete übertragen, fo hätte man die Grundlage, um für das etwa im Rohbau mit farbigen Steinen in beftimmter Mufterung auszuführende Gewölbe eine ftreng richtige Bauzeichnung anfertigen zu können.

Werden die einzelnen auf Schwalbenfchwanz-Verband zufammentretenden Schichten bei gröfsern Spannweiten reichlich lang, fo erfolgt das Einwölben nach Fig. 589 von den Ecken *a*, *b* u. f. f. aus nach dem Schwalbenfchwanz-Verband, von

der Mitte der Widerlager nach dem Scheitel zu jedoch in dreieckigen Wölbgebieten *c*, *d*, *e* u. f. f. auf Kufverband. In diefem Falle find aufser den Wölbfcheiben *d* der Diagonalbogen noch Wölbfcheiben *a* für die auf Kuf zu wölbenden Zwifchenftücke erforderlich.

Fig. 589.





Für einen regelmäfsig vieleckigen Raum ift das Einwölben auf Schwalbenfchwanz-Verband nach Fig. 590 vorzunehmen. Die Lagerkanten find wiederum Schnitte von Normalebenen der Diagonalbogen mit der Gewölbfläche.

Das Austragen der Stirnlinien nach der Annahme des Diagonalbogens *ab* mit der Pfeilhöhe *sc* und dem hiervon abhängigen gröfsten Kreife *G* der Kugelfläche, welcher die Gewölbfläche angehört, ift nach dem in Art. 399 (S. 541) Gefagten bewirkt. Eben fo ift in der hinlänglich befprochenen Weife die Grundrifs-Projection *gh* einer Lagerkante der Normalebene *N* des Diagonalbogens *ac* gezeichnet.

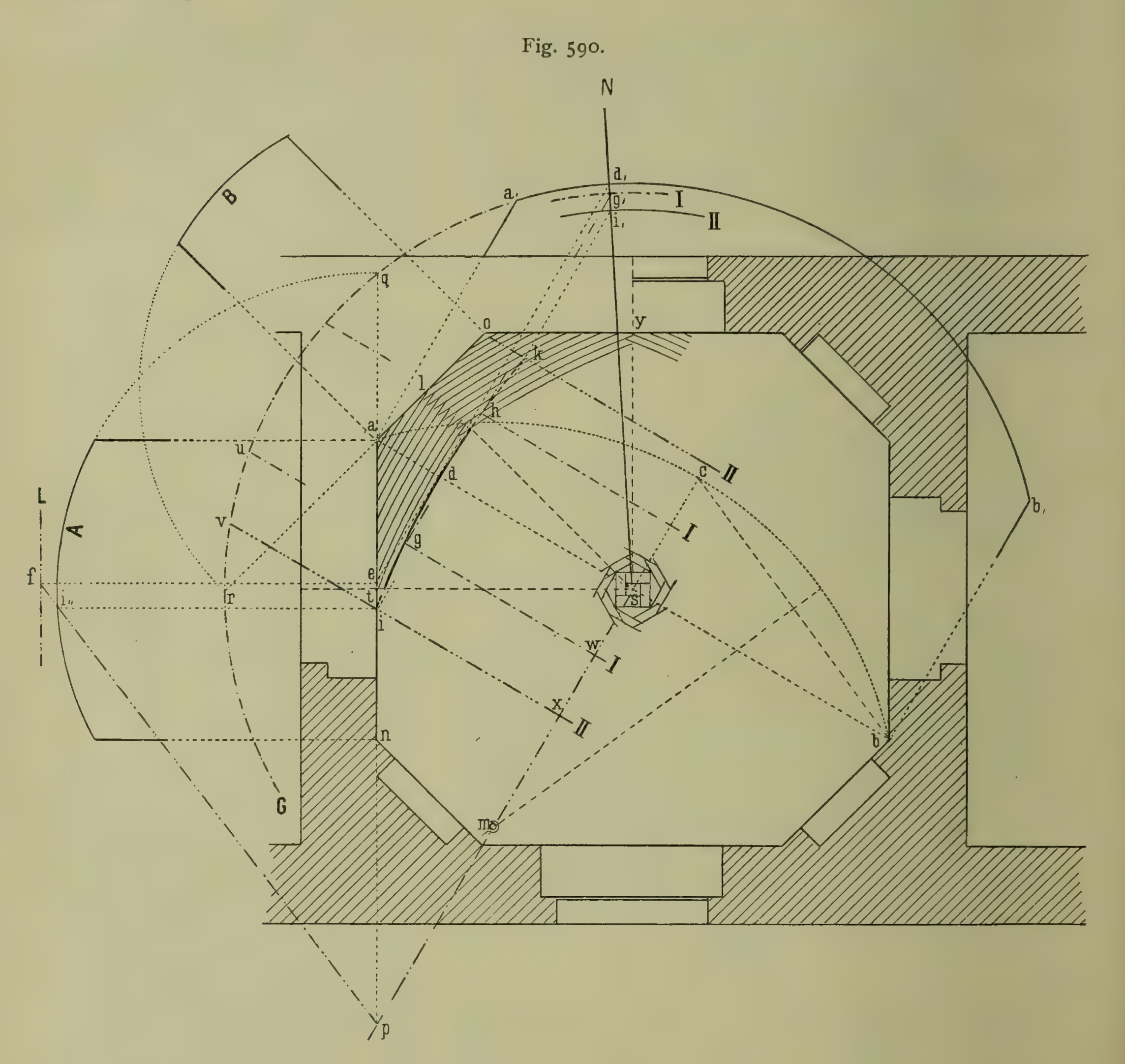
Bei gröfseren regelmäfsig vieleckigen Räumen läfft fich nach Fig. 591 eine wirkungsvolle Anlage böhmifcher Kappengewölbe durch das Zufammentreten ftrahlenförmig von einer in der Mitte des Raumes aufgeftellten Säule abzweigender Einzelgewölbe fchaffen. Das Austragen der Schnittlinien der einzelnen Kappen, das Ausmitteln ihrer Stirnlinien nach der Annahme des durch die Kämpferpunkte *a*, *b*, *c*, *d* eines Gewölbefeldes gehenden Kreifes *A* mit dem Mittelpunkte *m* und nach dem Feftfetzen der Pfeilhöhe *mh* bergen nach dem für die Geftaltung des böhmifchen Kappengewölbes Vorgetragenen keine Schwierigkeit.

Bei der Ausführung des hier befprochenen Gewölbes werden in der Richtung

der Diagonalen ac, bd u. f. f. Verftärkungsgrate gemauert, gegen welche fich die auf Schwalbenfchwanz-Verband gewölbten, meiftens nur ½ Backftein ftarken Kappen, wie bei $r_1 o_1$ im Grundriffe angegeben ift, lagern. Hierzu ift bei $r_{\prime\prime} q_{\prime\prime}$ noch ein befonderer Normalfchnitt nach bekannten Mafsnahmen gezeichnet.

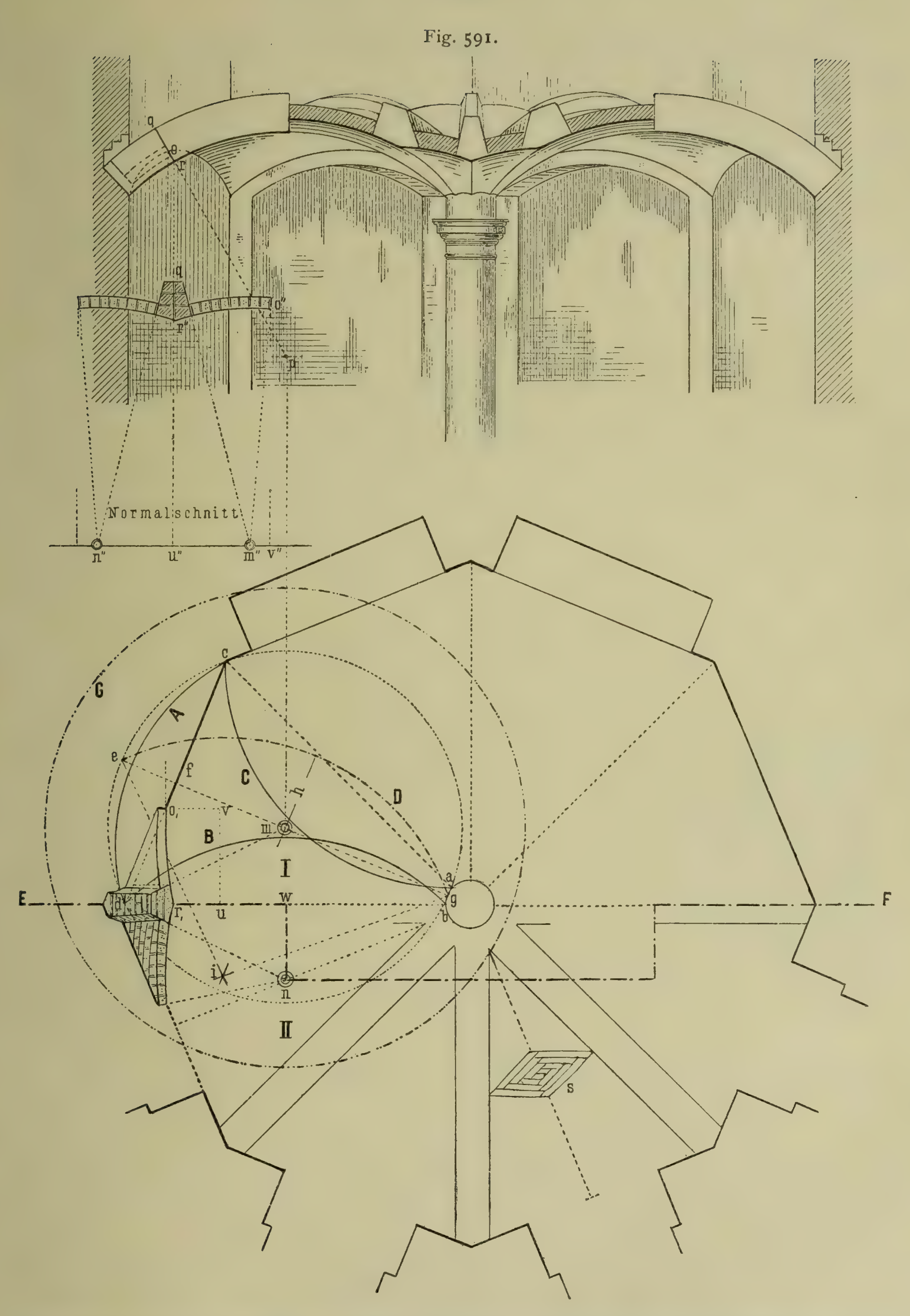
Der Schnitt in der Richtung EF bringt die Gewölbeanlage zur näheren Anfchauung.

Fig. 590.



Sollen böhmifche Kappengewölbe der in Art. 397 (S. 539) befchriebenen Geftaltung nach unter Anwendung von Rutfchbogen (Schlitten), ähnlich den in Art. 160 (S. 230) erwähnten Rutfchbogen für preufsifche Kappen, über rechteckigem Gewölbefelde von gröfserer Länge eingewölbt werden, fo wird, wie Fig. 592 bei G zeigt, der gröfsere Theil des Gewölbes an den fchmalen Seiten in Schichten gemauert, deren über das Gewölbe von Langfeite zu Langfeite ziehenden Stofsfugenkanten in Normalebenen $bh_{\prime}$ und $bq_{\prime}$ zur Stirnlinie B der anderen Seiten des Raumes liegen, während das in der Mitte des Gewölbes einzufügende Wölbgebiet auf Kuf ausgeführt wird, wobei hier die Lagerkanten Ebenen $as_{\prime}$ angehören, welche fich fämmtlich in

Fig. 591.

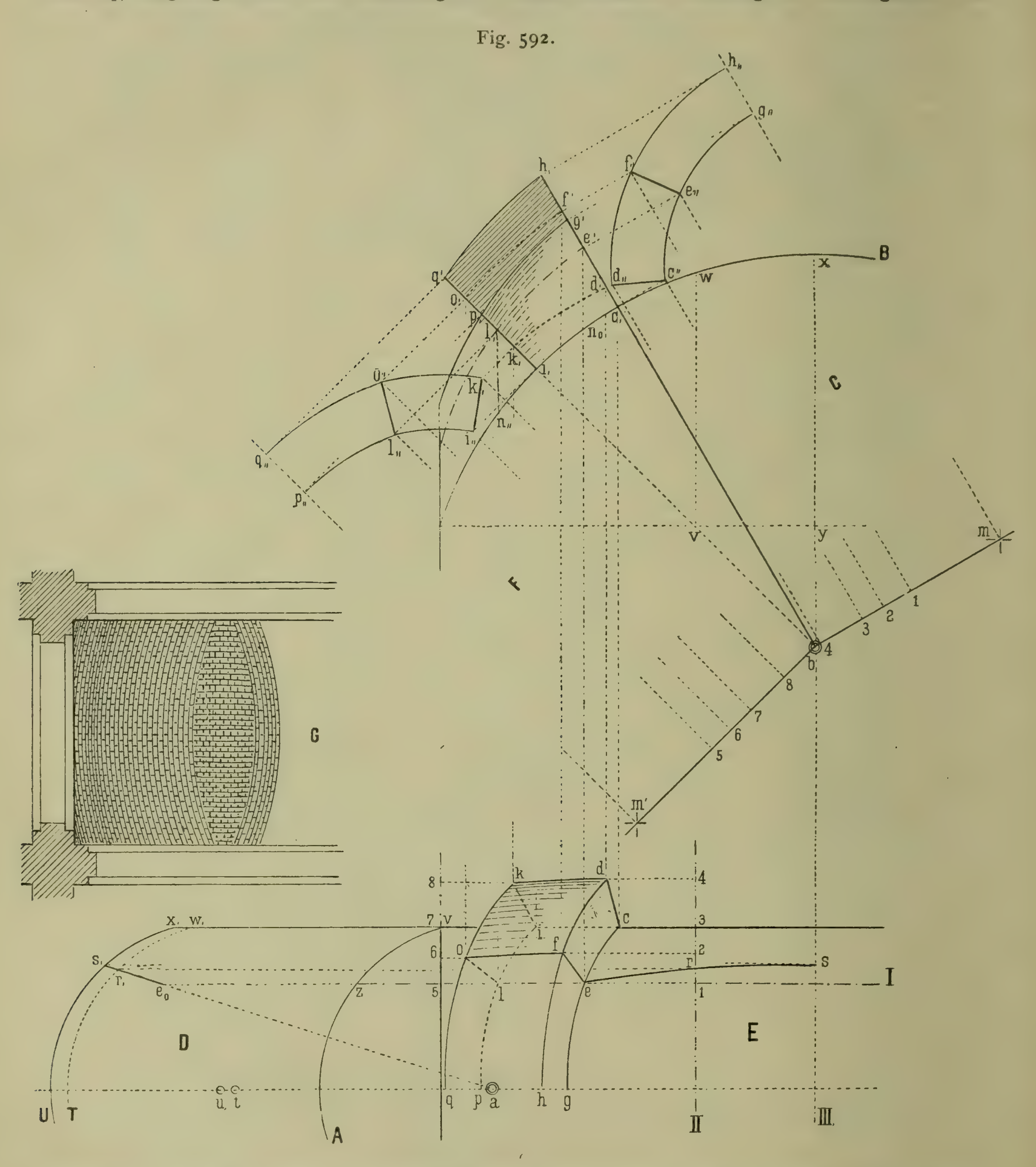


der geraden Verbindungslinie der Mittelpunkte der Stirnlinien der fchmalen Rechtecksfeiten fchneiden.

Hierdurch entftehen zwei Gruppen befonders gebildeter Wölbverbände. Ueber die Art diefer Verbände giebt die Zeichnung näheren Auffchlufs.

Die Gerade $b h_,$ ift die Spur einer Normalebene des Stirnbogens *B*. Diefe fchneidet das Gewölbe in der zur Hälfte dargeftellten, nach dem Stirnbogen *A* abgeleiteten Fläche $c_{,,} g_{,,} h_{,,} d_{,,}$. Die Lagerfugen $c_{,,} d_{,,}$ bezw. $e_{,,} f_{,,}$ ftehen fenkrecht zur Curve $c_{,,} e_{,,} g_{,,}$; die normale Stärke des Gewölbes ift durch $c_{,,} d_{,,} = e_{,,} f_{,,} = g_{,,} h_{,,}$ gegeben. Eben fo ift die Schnittfläche $l_{,,} p_{,,} q_{,,} k_{,,}$ des Gewölbes für die Normalebene $b q_,$ ausgetragen und unter Beachtung der vorhin erwähnten Geftaltung der Laibungsfläche des

Fig. 592.



Gewölbes die lothrechte Projection der Hälfte einer Wölbfchicht ftark vergröfsert gezeichnet. Die Grundrifs-Projection ergiebt fich mit Hilfe lothrechter Ebenen, wofür die wagrechten Spuren *I*, *III*, bezw. *1*, *2*, *3*, *4* parallel der langen Umfangsfeite des rechteckigen Grundriffes genommen find, ohne befondere Umftände. In Folge deffen werden auch die Stofsfugenkanten *ceg*, bezw. *ilp* in der wagrechten Projection erhalten. Da die einzelnen Schichten nach Art des *Moller*'fchen Verbandes gemauert werden, ein keilförmiges Zufchärfen der Steine nach den Ebenen $b h_,$ und $b q_,$ durch Ausgleichung der Dicke der Mörtelfugen in den Stofsflächen aber vermieden werden kann, fo ergiebt fich beim Wölben felbft fchon mit grofser

Näherung der richtige Verlauf der Stofsfugenkanten *ceg*, *ilp* u. f. f., wenn nur von vornherein in der Nähe der Fufspunkte des Gewölbes eine der Zeichnung entfprechende Richtung der Stofsfugenkanten innegehalten wird.

Die Lagerfugenkanten des mittleren Gewölbegebietes *E* find in den wagrechten Projectionen leicht aufzufinden. Für die Ebene $as_{,}$ ift *ers* ein Stück der wagrechten Projection einer Lagerkante. Die lothrechte Ebene mit der wagrechten Spur *II* fchneidet die Gewölbelaibung nach dem Kreisbogen *T*, wofür $vw_{,} = vw$ des Stirnbogens *B* ift. Der Halbmeffer $w_{,}t$ ift gleich dem Halbmeffer *va* des Stirnbogens *A* der fchmalen Rechtecksfeite. Der Mittelpunkt *t* liegt, der Erzeugung der Wölbfläche entfprechend, auf der verlängerten Geraden *ag*. Die Ebene $as_{,}$ fchneidet den Bogen *T* in $r_{,}$; die auf *II* gelegene wagrechte Projection diefes Punktes ift alfo *r*, und folglich wird *r* ein Punkt der wagrechten Projection der gefuchten Lagerfugenkante. Nach gleichem Verfahren find zahlreiche Punkte *e*, *s* diefer Lagerkante zu finden.

Bei forgfältiger Ausführung der Wölbung auf Rutfchbogen kann die Laibung diefer Gewölbe felbft ohne Putz bleiben. In ähnlicher Weife kann auch das Einwölben längerer anfteigender böhmifcher Kappengewölbe bei der Anwendung von Rutfchbogen ausgeführt werden. Als Leitfchienen für die Rutfchbogen dienen zwei an den Langfeiten aufgeftellte Wölbfcheiben, deren obere Begrenzung nach den Stirnlinien der langen Umfangsfeiten abgerundet ift.

---

18. Kapitel.

Gufsgewölbe und hängende Gewölbe.

408. Gufsgewölbe.

Die Herftellung von Decken aus Gufsmauerwerk oder Grobmörtel, beftehend aus einem Gemenge von Steinabfällen oder kleinen Steintrümmern, Steinfchlag, und Mörtel wurde von den Römern fchon frühzeitig vorgenommen. Die Form diefer Decken entfprach im Wefentlichen der Geftaltung der Tonnengewölbe, Kreuz- und Kuppelgewölbe.

Ueber die Ausführung diefer fog. Gufsgewölbe find in Theil II, Band 2 diefes »Handbuches« eingehendere Mittheilungen enthalten.

Dem Gebiete des eigentlichen Gewölbebaues find derartige Gufsmörteldecken jedoch nicht hinzuzurechnen. Nach dem Erhärten des Grobmörtels bildet die Gufsmörteldecke eine zufammenhängende, mehr oder weniger elaftifche Schale, welche ihrem Gefüge nach von der Anordnung der gewölbten Steindecken in hohem Grade abweicht.

In der Neuzeit ift die Herrichtung von Decken aus Gufsmörtel unter dem Beibehalten beftimmter Gewölbformen wieder fehr rege geworden. Sie werden vielfach und in mannigfachfter Geftaltung und Gröfse zur Anwendung gebracht.

Die Ausführung der als Decken in der Form von Gewölben auftretenden Gufsgewölbe, wobei ein etwa aus 1 Theile Cement, 2 Theilen Sand und 3 bis 6 Theilen Steinfchlag oder Schlackenkies durch entfprechenden Zufatz von Waffer bereiteter Grobmörtel benutzt wird, erfolgt ftets auf einer vollftändig mit Schalung verfehenen Einrüftung des zu überdeckenden Raumes.

Der Grobmörtel oder Beton wird auf die Schalung in dünnen, 10 bis 15 cm dicken Lagen gleichförmig ausgebreitet und hierauf in forgfamer Weife feft geftampft. Unter ftetem Annäffen durch Waffer, welches mittels einer Giefskanne in dünnen Strahlen der unteren Lage zu Theil wird, erfolgt das Auftragen der nach und nach folgenden Betonfchichten, bis die beabfichtigte Dicke der zu bildenden Decke

erreicht ift. Die Gewölbzwickel find ebenfalls mit Gufsmörtel zu füllen. Hierbei fei auch auf Art. 68 (S. 75) des vorliegenden Heftes verwiefen.

409. *Rabitz-* und *Monier-*Decken.

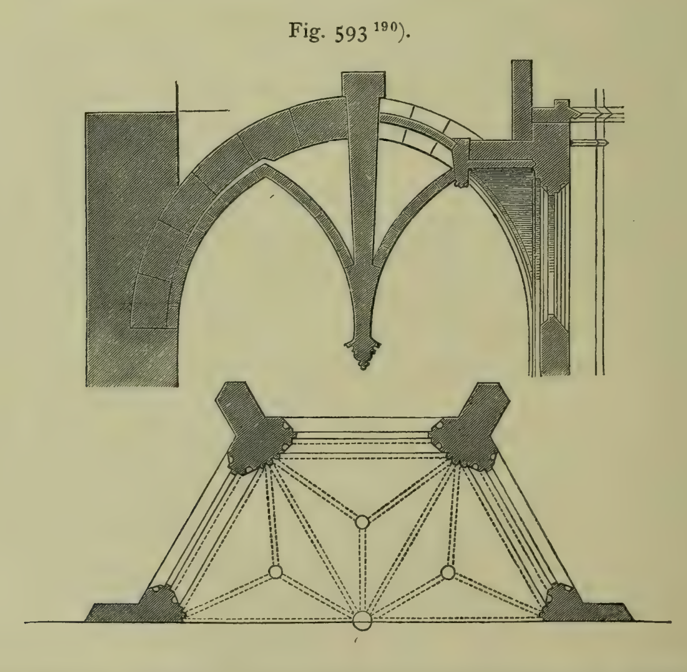
Bei den in Gewölbform hergerichteten *Rabitz*-Decken erhält die eigentliche Mörtelmaffe, der fog. *Rabitz*-Putz (fiehe Theil III, Band 2, Heft 1 diefes »Handbuches«, Art. 264 u. ff., S. 329 u. ff.), durch Einlage eines der Geftaltung der gewölbten Decke nachgeformten Drahtgewebes eine befondere Unterftützung und Haltbarkeit. Hierbei können einzelne ftärkere Eifendrähte als Hauptträger des Drahtgewebes eingeführt werden.

Diefes Drahtfyftem wird vollftändig mit dem Mörtelputz überzogen, bis die gewünfchte Form der Decke erzielt ift. Die Drahteinlage kann in der Mitte oder im unteren Viertel der Decke bleiben.

Bei den *Monier*-Decken wird die Gewölbform durch die Einlage eines aus ftarkem Eifendraht beftehenden Gerippes angebahnt. Diefes Gerippe wird aus 5 bis 25 mm im Durchmeffer ftarken eifernen Längs- und Querftangen hergerichtet. An den Kreuzungsftellen der Stäbe wird durch Drahtumwindungen ihre Verbindung bewirkt. Diefes Tragfyftem der Decke ift ein mit 10 bis 15 cm, unter Umftänden mit 20 cm weiten Mafchen verfehenes, korbartig gebildetes Geflecht, welches zur Herftellung der geplanten Decke mit Cementmörtel überzogen wird (fiehe im eben genannten Heft diefes »Handbuches« Art. 271, S. 334).

Im Allgemeinen können die *Rabitz-* und die *Monier*-Decken eine geringere Stärke, als die eigentlichen gewölbten Decken erhalten.

Fig. 593 [190]).



410. Hängende Gewölbe.

Werden bei einer gewölbten Decke einzelne Stützkörper, wie Pfeiler, Säulen u. f. w. fortgelaffen und wird hierfür Erfatz durch eine oberhalb des Gewölbes in kräftiger Weife hergerichtete Trag-Conftruction gefchaffen, an welche die zu ftützenden Theile aufgehängt werden, fo entfteht das fog. hängende Gewölbe (Fig. 593 [190]).

190) Facf.-Repr. nach: GOTTGETREU, R. Lehrbuch der Hochbau-Konftruktionen. Theil I. Berlin 1880. S. 190.

Der Hauptbeftandtheil deffelben wird alfo ftets das mit gröfster Sicherheit zu conftruirende Tragwerk bleiben, möge daffelbe als Gurtbogenfyftem aus Stein oder unter ausfchliefslicher Verwendung von Eifen hergerichtet werden. Im Allgemeinen müffen die hängenden Gewölbe als äufserft gekünftelte Deckenbildungen angefehen werden. Bei der Möglichkeit des leicht eintretenden Verfchiebens oder Senkens ihrer aufgehängten Stützpunkte ift auch die nöthige Sicherheit ihrer Standfähigkeit nur durch das Aufwenden koftfpieliger und zufammengefetzter Nebenconftructionen zu erreichen. Ihre Anwendung kann aus diefen Gründen nicht empfohlen werden. Ein näheres Eingehen auf ihre Anordnung erfcheint hier überflüffig.

Beifpiele von hängenden Gewölben, namentlich aus der Zeit der Spätgothik, find in grofser Zahl bei den Kirchenbauten Englands zu finden.

C. Sonftige Decken-Conftructionen.

19. Kapitel.

Verglaste Decken und Deckenlichter[191]).

Von Adolf Schacht und Dr. Eduard Schmitt.

411. Ueberficht.

Verglaste Decken und Deckenlichter, welch letztere meift »Oberlichter«[192]) geheifsen werden, haben den Zweck, den unter ihnen befindlichen Räumen Licht zuzuführen, diefelben aber zugleich gegen das Eindringen von Staub, kalter Luft etc. abzufchliefsen. Da die verglasten Dächer und Dachlichter im nächftfolgenden Hefte (Abth. III, Abfchn. 2, F, Kap. 39) diefes »Handbuches« eine gefonderte Behandlung erfahren werden, fo find an diefer Stelle im Wefentlichen nur folche Deckenlichter zu befprechen, welche entweder:

1) die nach oben zu abfchliefsende Decke eines Raumes, bezw. einen Theil diefer Decke bilden, oder

2) welche in Zwifchendecken gelegen find, bezw. die Zwifchendecke felbft bilden.

Hiernach bleiben die in äufseren Dachflächen gelegenen lichtdurchlaffenden Flächen, die man zuweilen auch als »Oberlichter« bezeichnet, welche aber im »Handbuch der Architektur« die Benennung »Dachlichter« führen, unberückfichtigt. Hingegen werden Deckenlichter, welche man in Bürgerfteigen, Bahnfteigen und fonftigen regelmäfsig zu betretenden Flächen anordnet und die theils zu der einen, theils zu der anderen der vorhin gefchiedenen Arten gezählt werden können, mitbefprochen werden.

Dies vorausgefchickt, laffen fich im Folgenden unterfcheiden:

a) Deckenlichter, welche ftändig begangen, bezw. befahren werden, und

b) verglaste Decken (Glasdecken) und Deckenlichter, welche für gewöhnlich gar nicht, fondern höchftens nur zum Zweck der Reinigung oder Ausbefferung betreten werden.

Wenn defshalb die nachfolgende Unterfcheidung auch nicht vollftändig zutreffend ift, fo mögen die unter a fallenden Deckenlichter kurzweg als begehbare und die unter b einzureihenden Conftructionen als nicht begehbare bezeichnet werden.

Bezüglich der den Lichtöffnungen zu gebenden Abmeffungen fei auf Theil III, Band 2, Heft 5 (Abth. III, Abfchn. 2, F, Kap. 39: Verglaste Dächer und Dachlichter [unter a]) und auf Theil III, Band 3, Heft 1 (Abth. IV, Abfchn. 1, A, Kap. 1: Erhellung der Räume mittels Sonnenlicht[193]), fo wie bezüglich der Gemälde-Galerien auf Theil IV, Band 6, Heft 4 (Abth. VI, Abfchn. 4, B, Kap. 4, unter c, 1) diefes »Handbuches« verwiefen.

---

191) Gegenwärtiges Kapitel ift im Wefentlichen ein Auszug aus dem Heft Nr. 2 der »Fortfchritte auf dem Gebiete der Architektur« (Darmftadt 1894). Es wird auf diefes Ergänzungsheft des »Handbuches der Architektur« mehrfach hingewiefen und dabei ftets die Abkürzung »Fortfchritte Nr. 2« gebraucht werden.

192) Im »Handbuch der Architektur« wird der Gebrauch der Bezeichnung »Oberlicht« vermieden, um Mifsverftändniffen vorzubeugen. Wie bekannt, nennt man nicht felten hoch einfallendes Seitenlicht gleichfalls »Oberlicht«. (Vergl. auch Theil III, Band 3, Heft 1 [Abth. IV, Abfchn. 1, A, Kap. 1] und Band 4, 2. Aufl. [Abth. IV, Abfchn. 4, Kap. 1] diefes »Handbuches«.)

193) 2. Aufl.: Theil III, Band 4 (Abth. IV, Abfchn. 1, A, Kap. 1: Verforgung der Gebäude mit Sonnenlicht).

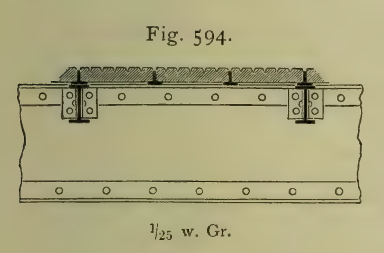
a) Begehbare Deckenlichter.

412. Deckenlichter aus Glasplatten.

Im Inneren der Gebäude werden begehbare Deckenlichter erforderlich, wenn ein Raum das Licht aus dem darüber gelegenen Raume erhalten und wenn in letzterem der Verkehr nicht unterbrochen werden foll. Alsdann mufs die zwifchen beiden befindliche Decke lichtdurchläffig, alfo im Wefentlichen aus Glas conftruirt werden. Die beide Räume trennende Zwifchenconftruction ift für den unteren »Deckenlicht«, bezw. »verglaste Decke« und für den oberen »Glasfufsboden«.

Die Conftruction eines derartigen Deckenlichtes läuft im Allgemeinen darauf hinaus, dafs man zwifchen die meift eifernen Haupttragebalken der Decke, welche in der Regel I-förmigen Querfchnitt und die der vorkommenden gröfsten Belaftung entfprechenden Abmeffungen erhalten, fchwächere Querträger aus geeigneten Formeifen, meift ⊥-Eifen, fetzt und diefelben durch Winkellafchen mit erfteren verbindet.

Fig. 594.



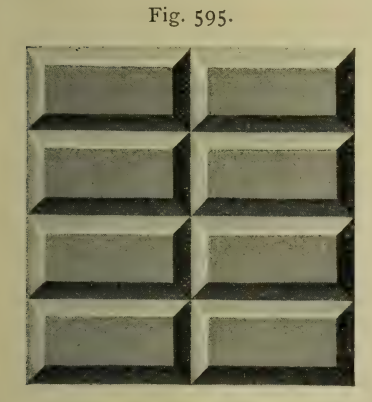
1/25 w. Gr.

In die Fache des fo gebildeten fchmiedeeifernen Roftes werden die Glasplatten (meift in Kitt) verlegt. Fallen die gedachten Querträger fehr ftark aus, fo ftellt man fie am beften aus I-Eifen her und lagert erft auf diefen die ⊥-Eifen, welche die Glasplatten aufzunehmen haben (Fig. 594). Im Allgemeinen empfiehlt es fich, für alle diefe Träger, bezw. Stäbe hohe, aber fchmale Profile zu wählen, um möglichft wenig Licht zu verfperren.

Sind Räume von bedeutenden Grundrifsabmeffungen mit einer durchgehenden und begehbaren verglasten Decke zu überfpannen, fo wird eine gröfsere Zahl von ftärkeren Längs- und Querträgern erforderlich; häufig genügen dann einfache Walzbalken nicht mehr, und es kommen Blechträger zur Verwendung. Die durch die Längs- und Querträger gebildeten Fache haben alsdann meift eine fo beträchtliche lichte Weite, dafs für die Lagerung der Glasplatten noch befondere Sproffen anzuordnen find [194]).

Für die Glasplatten verwendet man häufig Rohglas, welches für die in der Regel vorkommenden Verhältniffe meift 20 bis 25 mm ftark zu wählen fein wird [195]).

Fig. 595.



Glashartgufs-Fufsbodenplatte der Aktiengefellfchaft für Glasinduftrie vorm. *Friedr. Siemens* zu Dresden.

Ueber das Prefshartglas, welches in Folge feiner grofsen Biegungsfeftigkeit und feiner Widerftandsfähigkeit gegen Stofswirkungen im vorliegenden Falle in erfter Reihe in Frage kommen follte, liegen noch nicht fo allgemein günftige Erfahrungen vor, dafs deffen Benutzung unbedingt empfohlen werden könnte; Tafeln, die vorher auf das forgfältigfte geprüft worden find, fpringen fpäter bisweilen ohne erfichtliche Urfache. Durch Aenderungen im Fabrikationsvorgang ift indefs in neuerer Zeit diefem Mifsftand begegnet worden, und die von der Aktiengefellfchaft für Glasinduftrie vorm. *Friedr. Siemens* zu Dresden erzeugten »Glashartgufs-Fufsbodenplatten« (Fig. 595) haben fich bewährt.

Jedenfalls mufs auch noch des von *Friedr. Siemens* in Dresden in neuerer Zeit erzeugten Drahtglafes (Roh-

194) Ein einfchlägiges Beifpiel fiehe in: Fortfchritte Nr. 2, S. 7.

195) Ueber Berechnung der Glasdicke fiehe Theil III, Band 3, Heft 5 (Abth. III, Abfchn. 2, F, Kap. 39, unter b, 3) diefes »Handbuches«.

glas, in deſſen Innerem ſich ein feinmaſchiges Eiſendrahtgewebe von 1 mm Stärke befindet) gedacht werden, welches ſich für den fraglichen Zweck wohl eignen dürfte; ſchon bei einer Dicke von 6 bis 8 mm kann es ohne Gefahr des Durchbrechens betreten werden.

Damit die Glasplatten für das Begehen nicht zu glatt ſind, werden ſie nicht ſelten an ihrer Oberfläche gerieft oder kreuzweiſe gefurcht hergeſtellt; ſie heiſsen dann wohl auch Glasflieſen (ſiehe Fig. 594 u. 595). Letztere werden namentlich in Pariſer Geſchäftshäuſern in groſsem Umfange verwendet; ſie meſſen dort 35 cm im Geviert, ſind 60 bis 70 mm dick und mit 10 mm tiefen, einander kreuzenden Riefen verſehen; die Platten werden gegoſſen und haben eine etwas grünliche Farbe. Die eben erwähnten Glashartguſs-Fuſsbodenplatten meſſen 15 bis 42 cm im Geviert und ſind nach drei verſchiedenen Muſtern gerieft.

Als erſtes Beiſpiel ſei die einſchlägige Conſtruction im Geſchäftshaus des *Crédit Lyonnais* zu Paris (Fig. 596 u. 597 [196]) vorgeführt. In demſelben ſind zwei Kellergeſchoſſe über einander angeordnet, welche beide nur mittelbares Licht von oben her — durch die Deckenlichter, bezw. durch gläſerne Fuſsböden — erhalten.

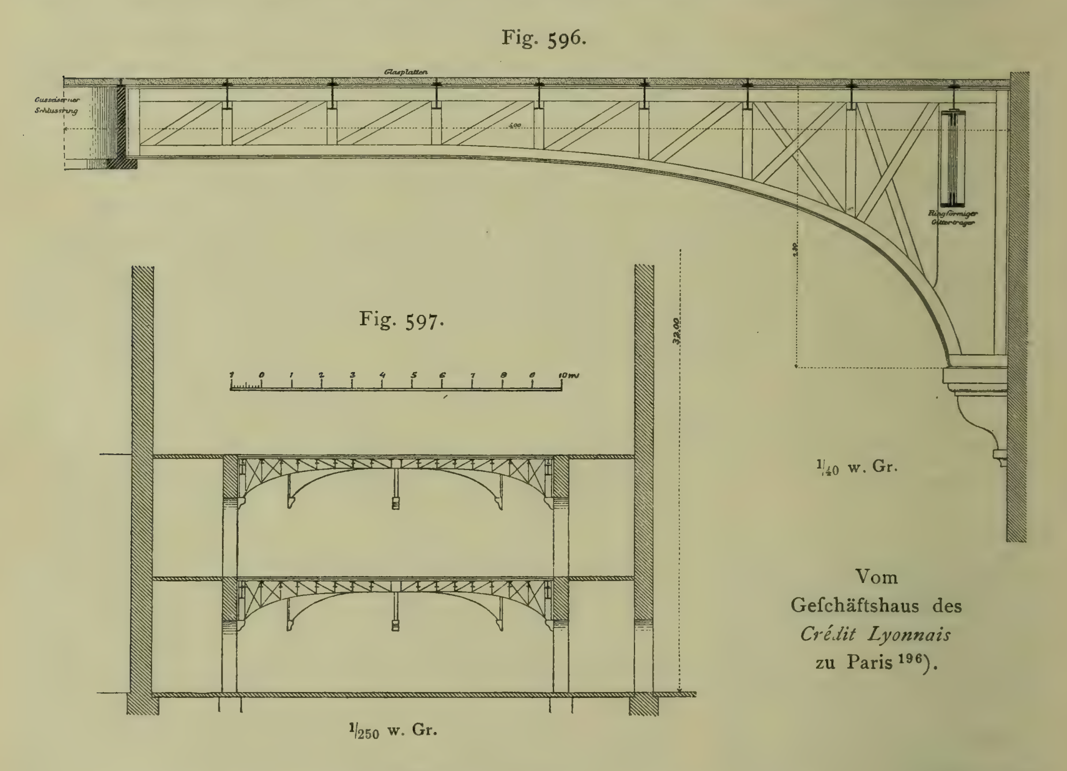


Fig. 596.

Fig. 597.

1/40 w. Gr.

1/250 w. Gr.

Vom Geſchäftshaus des *Crédit Lyonnais* zu Paris [196]).

Im Inneren des im Grundriſs zwölfeckig geſtalteten Treppenhauſes (Fig. 597) von 16 m Durchmeſſer, welches nach oben durch ein verglastes Zeltdach abgeſchloſſen iſt, befindet ſich in beiden Kellergeſchoſſen eine ringförmige Pfeilerſtellung, auf welcher die maſſive Treppen-Conſtruction des Erdgeſchoſſes ruht. Der innerhalb dieſer Pfeiler frei bleibende kreisförmige Raum von 10 m Durchmeſſer iſt durch ein Deckenlicht abgeſchloſſen, deſſen Tragwerk nach Art der Kuppel-, bezw. Zeltdächer angeordnet iſt. Die 8 radial geſtellten Hauptträger (Binder) deſſelben liegen mit ihrer Oberkante nahezu bündig mit dem Fuſsboden des darüber befindlichen Geſchoſſes und ſind als Fachwerkträger conſtruirt (Fig. 596); ſie ruhen an den Umfaſſungen auf ſteinernen Confolen und ſind daſelbſt durch einen ringförmigen Gitterträger mit einander

[196]) Nach: CONTAG, M. Neuere Eiſenconſtructionen des Hochbaues in Belgien und Frankreich. Berlin 1889. S. 12, 13 u. Taf. 6.

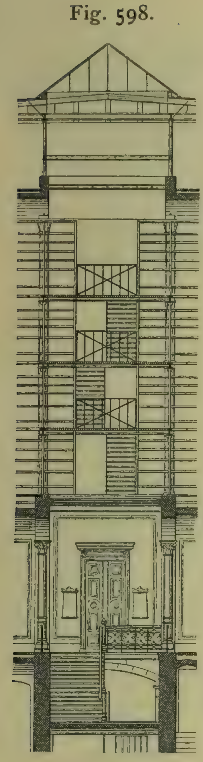


Fig. 598.

Von der Univerfitäts-Bibliothek zu Halle [197].

1/250 n. Gr.

verbunden; in der Mitte ftofsen die Hauptträger in einem achteckigen gufseifernen Schlufsring zufammen. Zwifchen diefen Trägern liegen, parallel zu den Umfaffungen, 8 fchwächere Träger (Pfetten) von I-förmigem Querfchnitt, welche fchiefwinkelig mittels gufseiferner Knaggen und Ecken angefchloffen find und die ⊥-Eifen tragen, in denen die Glasfliefen ruhen (fiehe auch Fig. 594).

Solche Glasfliefenbeläge find in fämmtlichen Lichthöfen des genannten Gefchäftshaufes zu finden; fie find auch in anderen Parifer Bauten, z. B. im *Comptoir d'escompte*, in den *Grands Magafins du Printemps* etc. verwendet worden und haben bezüglich der Erhellung der darunter gelegenen Räume fehr günftige Ergebniffe geliefert [196]).

Als weiteres hierher gehöriges Beifpiel diene das über dem Treppenhaus der Univerfitäts-Bibliothek zu Halle a. S. angebrachte Deckenlicht (Fig. 598 [197]).

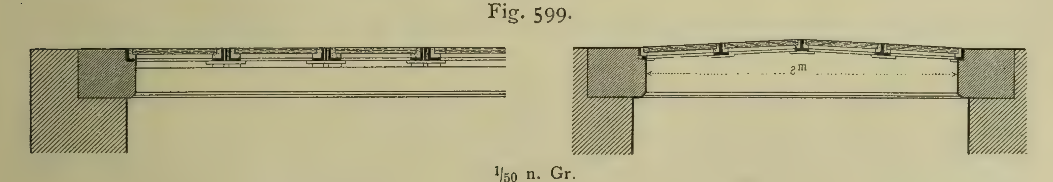
Diefes ziemlich central gelegene Treppenhaus wird von oben beleuchtet; die Treppe führt nur bis zum I. Obergefchofs; das ganze II. und III. Obergefchofs bildet ein Büchermagazin. Das Deckenlicht des Treppenhaufes befindet fich im Mittelgang des letzteren, und das Licht fällt durch ein über diefem angeordnetes Dachlicht ein. Der Verkehr in diefem Mittelgange durfte nicht unterbrochen werden; defshalb muffte das Deckenlicht begehbar conftruirt werden. Auf einer untergelegten Balkenlage aus I-Eifen liegt ein Roft von hochkantig geftellten Flacheifen mit 30 cm Mafchenweite; die Flacheifen find mit Hilfe von Winkellafchen mit einander verfchraubt; letztere dienen den Glasplatten als Auflager. Die Glasplatten find aus kreuzgekerbtem Rohglas hergeftellt, deffen geringfte Stärke in den Kerben noch 2,5 cm beträgt [197]).

Aus Glasplatten gebildete begehbare Deckenlichter kommen indefs nicht blofs im Inneren der Gebäude vor, fondern fie find auch in manchen anderen Fällen zur Anwendung gekommen. Namentlich waren in neuerer Zeit die Umbauten der Bahnhöfe gröfserer Städte Veranlaffung zur Ausführung folcher Deckenlichter, fobald es fich darum handelte, die einzelnen Bahnfteige unter einander und mit dem Empfangsgebäude durch unterirdifche Gänge oder Tunnel zu verbinden.

Diefen, dem Perfonen-, Gepäck- und Poftverkehr dienenden Tunneln wird die Haupterhellung allerdings durch die Treppenmündungen oder durch künftliches Licht zugeführt; indefs an denjenigen Stellen, wo diefe Tunnel unter Zwifchenbahnfteigen liegen, zu denen keine Treppen emporführen, eben fo für andere unter den Bahnfteigen befindliche unterirdifche Räume werden Deckenlichter angeordnet, und diefe müffen naturgemäfs dem auf den betreffenden Bahnfteigen herrfchenden Verkehre genügenden Widerftand leiften.

Derartige Deckenlichter erhielten meift eine genügend ftarke Verglafung, die in einem unterftützenden engen Eifenroft ruht. Fig. 599 zeigt ein im Freien ge-

Fig. 599.

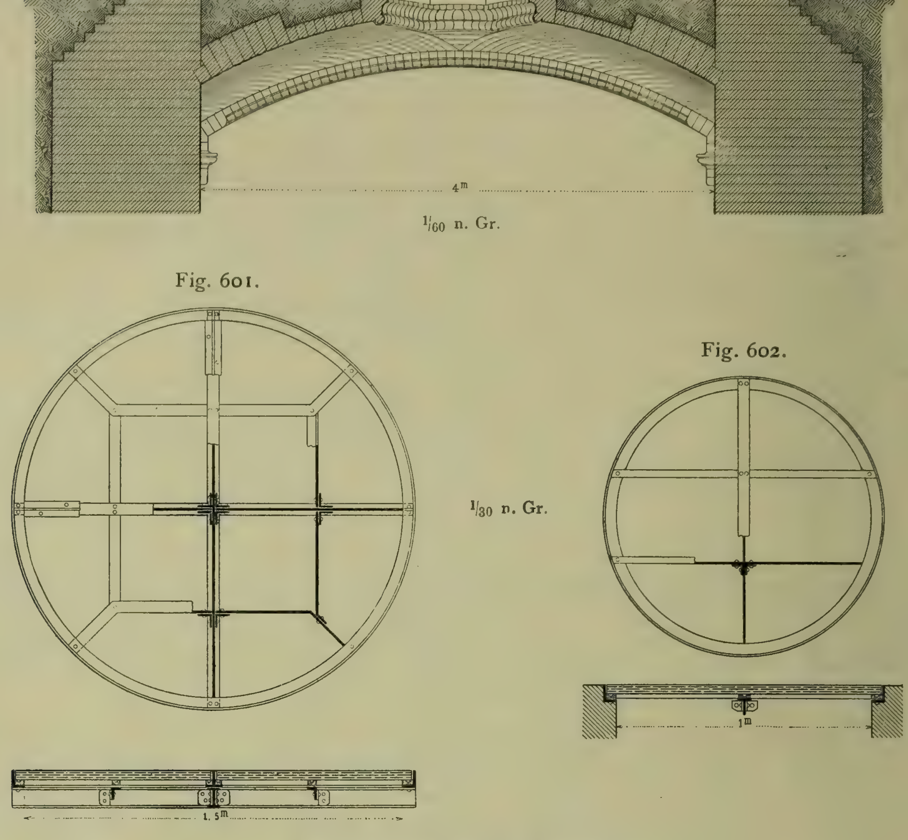


1/50 n. Gr.

legenes Deckenlicht der fraglichen Art in Querfchnitt und Längsfchnitt; behufs Ableitung der atmofphärifchen Niederfchläge find die Glastafeln der Quere nach geneigt angeordnet; der Roft ift aus L- und ⊥-Eifen zufammengefetzt.

197) Nach: Zeitfchr. f. Bauw. 1885, S. 338 u. Bl. 49.

Fig. 600.



Vom Hauptbahnhof zu Hannover.

In Fig. 601 iſt ein kreisrundes Deckenlicht von 1,5 m lichtem Durchmeſſer dargeſtellt, wie es in den gewölbten Decken der Tunnel im Hauptbahnhof zu Hannover zur Ausführung gekommen iſt, und in Fig. 602 ein ſolches von 1,0 m Durchmeſſer daſelbſt. Fig. 600 veranſchaulicht den oberen Theil des betreffenden Tunnels im Querſchnitt, woraus erſichtlich iſt, daſs ſich über der Durchbrechung des Gewölbes Stirnmauern *s* erheben, die oben einen Steinkranz tragen, worin der eiſerne Roſt lagert.

Fig. 603.

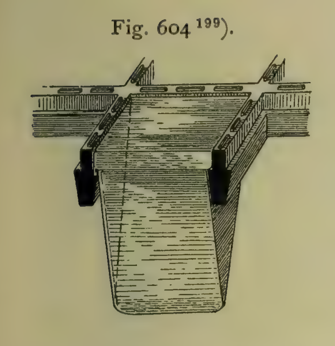
0,05

1/5 n. Gr.

Nicht immer iſt für die Herſtellung der Stirnmauern der erforderliche Raum vorhanden, und man muſs alsdann den Abſchluſs gegen die Gewölbeüberſchüttung durch eine Eiſen-Conſtruction bewirken [198]).

Die Glasplatten erhalten meiſt zwiſchen 2,5 und 4,0 cm Dicke und werden entweder in ein Kittbett (Fig. 599) oder auf einen Zwiſchenrahmen aus Holz (Fig. 603) gelagert. Letzterer erhält zur Aufnahme und Ableitung des Schwitzwaſſers und des an den Seitenkanten der Platten durchſickernden Auſsenwaſſers an ſeiner Oberſeite häufig eine Rille. Indeſs iſt ein Kittbett, am beſten ein ſolches aus einem der Feuchtigkeit und den ſonſtigen

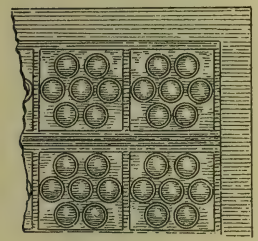
198) Zwei hierher gehörige Beiſpiele ſind zu finden in: Fortſchritte Nr. 2, S. 10 u. Fig. 10, ſo wie 11 (S. 12).


Fig. 604 [199]).

äufseren Einflüffen längere Zeit Widerftand leiftenden Afphaltkitt, vorzuziehen, weil dadurch eine gleichmäfsigere Auflagerung der Glasplatten gefichert ift.

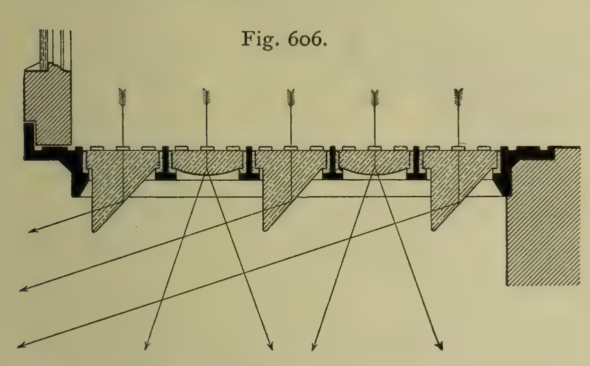
Statt der Glastafeln find in lebhaft von Fuhrwerken benutzten Durchfahrten etc. auch fchon Pflafterwürfel aus Rohglas verwendet worden, welche in Abmeffungen bis zu 165 mm Stärke bei 150 mm Seitenlänge und einem Gewicht von 9 kg erzeugt werden.

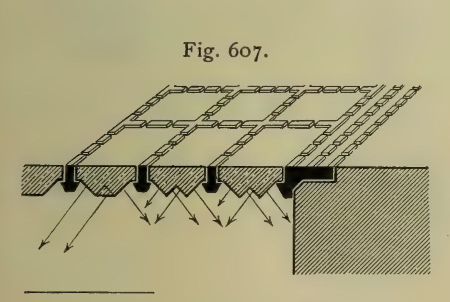
In der Regel erfcheint es geboten, unter begehbaren Deckenlichtern, welche nach einer der im Vorhergehenden befchriebenen Conftructionen ausgeführt find, ein Drahtgitter anzuordnen, welches bei etwaigem Bruch der Glasplatten etc. den darunter befindlichen Perfonen den erforderlichen Schutz gewährt. Bei Verwendung von genügend dickem Drahtglas find folche Vorkehrungen nicht nothwendig.

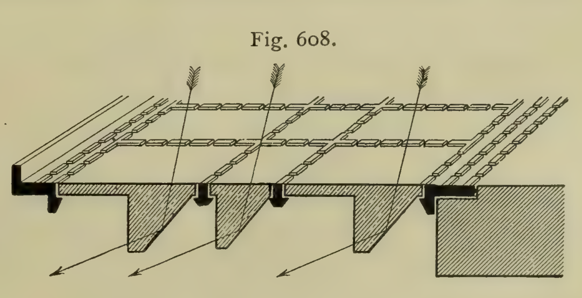

Fig. 605 [199]).

413.
Deckenlichter aus Glasprismen und -Linfen.

Schon feit längerer Zeit verwendet man vielfach, befonders in Nordamerika und England, zur Erhellung von Kellerwohnungen, von im Kellergefchofs gelegenen Gefchäftsräumen, von rückwärtigen Theilen erdgefchoffiger Werkftätten und Läden, von Räumen, welche vor ftädtifchen Gebäuden unter dem Bürgerfteig angeordnet find, von Fluren etc., welche vom Sonnenlicht entweder gar nicht oder nur in fehr geringem Mafse erreicht werden, Glasprismen und Glaslinfen. Die im vorhergehenden Artikel vorgeführten Glasplatten werden hauptfächlich dann benutzt, wenn in einen unterirdifch gelegenen Raum Lichtftrahlen lothrecht von oben einfallen follen; Glasprismen und -Linfen hingegen können nicht nur unter gleichen Verhältniffen, fondern auch dann Anwendung finden, wenn man einem unterirdifchen Raum hohes Seitenlicht zuführen will. In letzterem Falle werden in den Bürgerfteigen, den Hofräumen etc. Lichtfchächte angeordnet und diefe alsdann in der Höhe der Bürgerfteig-, Hof- etc. Oberkante mit einem gufseifernen Roft abgedeckt, in deffen einzelne Mafchen Gläfer eingefetzt und eingekittet werden, von denen


Fig. 606.


Fig. 607.


Fig. 608.

199) Nach: Centralbl. d. Bauverw. 1885, S. 256.

jedes entweder ein einzelnes Prisma oder eine einzelne Linfe bildet oder an feiner Unterfläche eine Anzahl von kleineren Prismen oder Linfen trägt.

Fig. 609.

In Fig. 604[199]) hängt in jeder Mafche des Roftes ein einzelnes Prisma von 6 × 11 cm Grundfläche und 10 cm Höhe, während bei der Anordnung in Fig 605[199]) die 30 bis 50 cm im Geviert meffenden Glastafeln an ihrer Unterfläche mit je 7 halbkugelförmigen Linfen (um 2,5 bis 4,0 cm vorfpringend) verfehen find. Bei dem durch Fig. 606 veranfchaulichten, aus England ftammenden Deckenlicht find in die Mafchen des Eifenroftes abwechfelnd je ein Glasprisma und eine Glaslinfe verfenkt.

In manchen Fällen hat man Glasplatten verwendet, welche an ihrer Unterfläche mit prismenartig geftalteten Vorfprüngen, bezw. Vertiefungen verfehen find, wie dies z. B. Fig. 607 zeigt.

Letztere Anordnung, eben fo die Ausführungen in Fig. 608, 609 u. 610 rühren von der Firma *Gebr. Klencke* in Hemelingen bei Bremen her, welche in neuerer Zeit folche Glaserzeugniffe in den Handel gebracht hat. In Fig. 608 u. 609 wird das Licht hauptfächlich nach einer Seite geworfen, fo dafs der zu erhellende Raum nicht unmittelbar unter dem Deckenlicht zu liegen braucht; die betreffenden Glaskörper find 9,2 × 11,8 cm und 18,0 × 11,8 cm grofs. Bei der Anordnung nach Fig. 607 wird das Licht nach allen Seiten zerftreut, fo dafs dabei vorausgefetzt ift, der zu erhellende Raum befinde fich gerade unter dem Deckenlicht. Fig. 610 endlich zeigt die Anwendung von Glasprismen, wenn durch eine Steintreppe hindurch der darunter gelegene Raum erhellt wird; man kann indefs auch die Glasprismen felbft ftufenartig über einander fetzen.

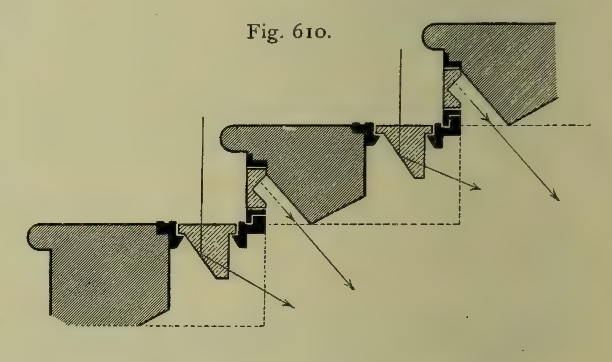
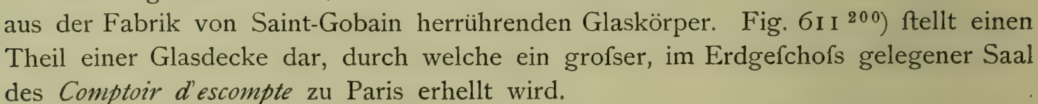


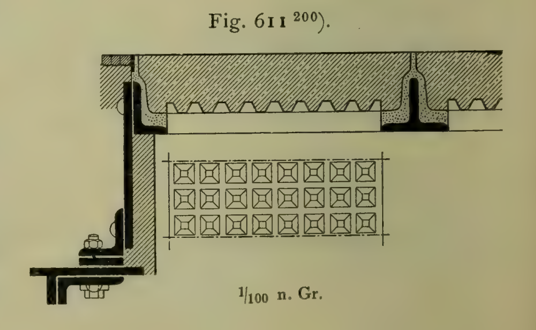
Fig. 610.

Aehnlich geftaltet find die in Frankreich gebräuchlichen, zumeift aus der Fabrik von Saint-Gobain herrührenden Glaskörper. Fig. 611[200]) ftellt einen Theil einer Glasdecke dar, durch welche ein grofser, im Erdgefchofs gelegener Saal des *Comptoir d'escompte* zu Paris erhellt wird.



Diefe Decke wird von eifernen Säulen getragen, auf denen zunächft Zwillingsbalken (aus je zwei I-förmig geftalteten Blechträgern zufammengefügt) ruhen. Zwifchen diefen find die ⊥-förmigen Sproffen angeordnet, in welche die Prismengläfer, nachdem vorher ein Bett aus Glaferkitt ausgebreitet worden war, verlegt worden find.

Fig. 611[200]).



In den Bürgerfteigen der Hauptverkehrsftrafsen von New-York und anderen Städten der Vereinigten Staaten findet man zahlreiche Deckenlichter (Fig. 612[201]), welche die unter den Bürgerfteigen gelegenen unterirdifchen Räume zu erhellen haben. Sie beftehen aus einem gufseifernen

200) Nach: *La femaine des conftr.*, Jahrg. 10, S. 92.

201) Vielfach von den *Humbold-Iron-Works* in New-York und von *F. M. Hicks & Co.* in Chicago ausgeführt.

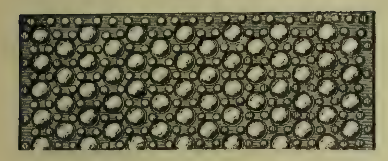


Fig. 612.

Roſt, in deſſen kreisförmige Durchbrechungen Glaslinſen eingeſetzt ſind (Fig. 614 [202]).

An die Linſen iſt eine ſchraubenförmige Nuth angegoſſen; in die Durchbrechungen des Eiſenroſtes iſt ein Stift eingeſteckt; Einſetzen und Abdichten der Glaslinſen erfolgen mit Hilfe eines eigenen Schlüſſels durch Bajonett-Verſchluſs, wie dies aus Fig. 614 zu erſehen iſt. Zur vollkommenen Abdichtung wird zwiſchen den coniſchen Hals des Eiſengerippes und die Linſe ein Kautſchukring gelegt.

Bisweilen ſind dieſe Linſen nach unten prismenartig verlängert (Fig. 613). In Form von Prismen enden auch die von *Jul. Staehr* in Berlin gelieferten ſog. »Glasſchuppen«, die nach oben zu gleichfalls linſenförmig geſtaltet ſind (Fig. 615).

Fig. 613.

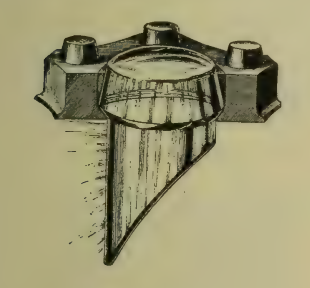
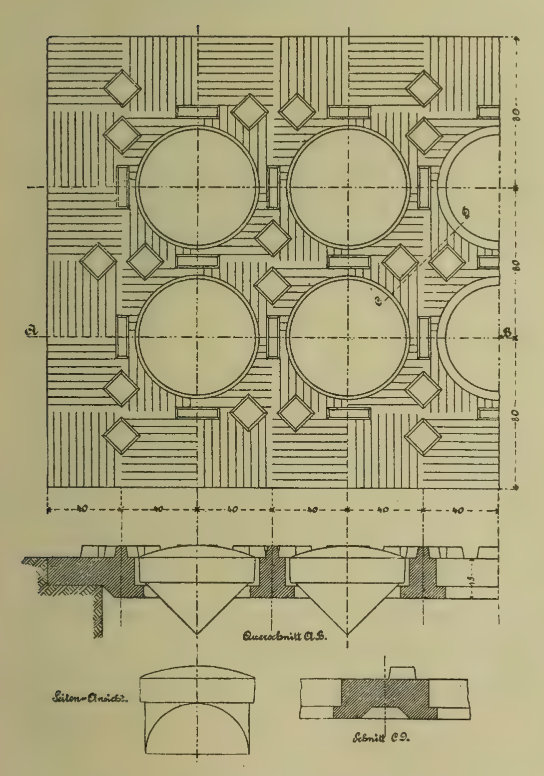


Fig. 614.

Fig. 615.



Einfall-Lichtgitter mit Glasſchuppen von *Jul. Staehr* zu Berlin.

Wie leicht erſichtlich, wird durch ein nach Fig. 604 (S. 559) geformtes Prisma ein mächtiges Bündel von convergirenden Lichtſtrahlen, welche ſeine Oberfläche treffen, zu einem parallelen Bündel zuſammengefaſſt und dadurch die Lichtſtärke für den darunter befindlichen Raum nicht allein vermehrt, ſondern in vielen Fällen darin das Licht auch beſſer vertheilt. Ganz ähnlich verhält es ſich mit der Linſenform. Die Wirkung der Prismen und Linſen kann noch erhöht werden, wenn man das durch dieſelbe geleitete Licht auf groſse Spiegelflächen führt; ſobald letztere um eine wagrechte Achſe drehbar ſind, kann man ſie zu jeder Tageszeit in eine ſolche Stellung bringen, daſs ſie das Licht in den zu erhellenden Raum in möglichſt günſtiger Weiſe zurückwerfen.

Unter günſtigen Verhältniſſen erreicht man hiernach mit den hier vorgeführten Anordnungen eine ganz gute Wirkung; allerdings betragen die Koſten ſolcher Glaskörper das 5- bis 6-fache

[202]) Facſ.-Repr. nach: HAARMANN's Zeitſchr. f. Bauhdw. 1877, S. 172.

derjenigen einer Verglafung mit Rohglasplatten. Auch ift bei den Glaslinfen zu beachten, dafs fie unter Umftänden wie Brenngläfer wirken, dafs alfo unmittelbar unter denfelben lagernde entzündbare Stoffe gefährdet werden können.

Sollen derartige Deckenlichter begangen werden, fo mufs man, da die Glaskörper an ihrer Oberfläche ziemlich glatt find, dafür forgen, dafs darüber fchreitende Perfonen nicht ausgleiten. Defshalb verfieht man entweder die Glaskörper an ihrer Oberfläche mit einer Riefung, wodurch fie allerdings in ihrer Lichtdurchläffigkeit beeinträchtigt werden, oder man giefst an die Oberkante der Stege des eifernen Roftes Zäpfchen an (Fig. 607 u. 608), wodurch das Ausgleiten verhindert wird. Die Linfen in Fig. 613 u. 614 ragen über das Eifengerippe hervor, fo dafs ein Ausgleiten nicht in zu hohem Mafse zu befürchten ift; um jedoch das Glas vor Befchädigung zu fchützen und dem Fufsgänger einen ganz ficheren Halt zu gewähren, find an den Roft dreikantige Stollen oder Warzen angegoffen.

414.
Decken
aus Glas-
hohlfteinen.

Seit einigen Jahren erzeugen die Glashüttenwerke »Adlerhütten, *H. Mayer & Co.*« zu Penzig in Schlefien fog. Glashohlfteine oder Glasbaufteine, Syftem *Falconnier*, welche fich wie andere Steine mit Hilfe von Mörtel zu gewölbten Decken vereinigen laffen; die Herftellung gefchieht genau fo über einer Verfchalung, wie bei einem flachen Backfteingewölbe. Decken aus folchem Material empfehlen fich namentlich dort, wo möglichft viel zerftreutes Licht in die Räume eingeführt werden foll, z. B. für grofse und tiefe Arbeitsfäle, für Künftler-Arbeitsftätten, Wintergärten und andere Pflanzenhäufer, Operationsfäle etc., auch dann, wenn eine thunlichft gleichmäfsige Temperatur gewünfcht wird, wie in Eisfabriken, Schlächtereien etc.

Fig. 616.

Fig. 617.

Glashohlfteine der Glashüttenwerke »Adlerhütten« in Penzig.

$^1/_{10}$ n. Gr.

Diefe Glasbaufteine find linfenartige Hohlkörper aus Glasmaffe und werden fowohl als ganze, wie auch als Dreiviertel-, Halbe- und Viertelfteine hergeftellt; fie werden halbweifs, weifs, milchweifs und in fatten, dunkeln Farben erzeugt. Fig. 616 zeigt Glasbaufteine in Sechseckform, die zufammengefügt einer Bienenwabe ähnlich find; in Fig. 617 find flafchenförmige Glasfteine mit rundem Mitteltheil dargeftellt. Von folchen Glasbaufteinen find für 1 qm Decke ca. 60 Stück nothwendig, von denen jeder ca. 700 g wiegt; die Koften belaufen fich, je nach der Farbe der Steine, auf 15 bis 24 Mark für 1 qm. Als Mörtel werden Cement- und Gypsmörtel verwendet.

Die Glashohlfteine find in Folge ihrer eigenartigen Form bei fehr kräftiger Wandung äufserft widerftandsfähig und nur fchwer zu zerftören; die im Inneren eingefchloffene Luft bildet auch bei ftarken Temperaturunterfchieden eine gute Ifolirung, fo dafs ein Schwitzen nicht eintritt.

b) Nicht begehbare Deckenlichter und verglaste Decken.

1) Allgemeines.

415.
Ueberficht.

Im Nachftehenden handelt es fich fowohl um kleinere verglaste Lichtflächen, welche in Balken- oder gewölbte Decken eingefügt find, als auch um Decken-Conftructionen, welche in ihrer ganzen Ausdehnung (von umrahmenden Flächenftreifen, Hohlkehlen u. dergl. etwa abgefehen) verglast find.

Die gröfsten verglasten Decken diefer Art find wohl diejenigen, welche die Bedeckung gröfserer Binnenhöfe (glasbedeckte Lichthöfe) bilden und die Benutzung der letzteren als Innenräume ermöglichen. Von bedeutenderer Ausdehnung find nicht felten die verglasten Theile der Decken in den Deckenlichtfälen von Mufeen und Ausftellungsgebäuden, eben fo die Deckenlichter über Flurhallen, Treppenhäufern etc.

Ueber den hier in Frage kommenden Deckenlichtern und Glasdecken befindet fich meiftens ein gefchloffener Raum; nur fehr felten münden diefelben in das Freie. Aus dem über der Lichtfläche vorhandenen Raume fallen die Lichtftrahlen in den darunter befindlichen Raum ein; um dies zu ermöglichen, ift in den häufigften Fällen über dem Deckenlicht, bezw. über der verglasten Decke ein verglastes Dach angeordnet, fo dafs man die innere Glasdecke und das äufsere Dachlicht[203]) zu unterfcheiden hat. Verhältnifsmäfsig felten wird der Raum über der Glasdecke durch Seitenlicht erhellt; eine ausreichende Beleuchtung des Raumes unter derfelben wird alsdann nur fchwer zu erzielen fein.

416.
Form.

Die im Nachfolgenden zu befprechenden verglasten Lichtflächen find ausdrücklich als »nicht begehbar« bezeichnet worden; in Folge deffen mufs in allen Fällen, wo es möglich ift, dafs Perfonen aus Unvorfichtigkeit etc. auf eine folche Lichtfläche gerathen können, durch Einfriedigung oder anders geartete Verwahrung Vorforge getroffen werden, damit Niemand das Deckenlicht, bezw. die Glasdecke betreten kann.

Die in Rede ftehenden Deckenlichter und verglasten Decken haben in den allermeiften Fällen die rechteckige Grundform; Deckenlichter, welche in Kuppelgewölbe eingefügt find, folche über Treppenhäufern etc. erhalten wohl auch kreisförmige, halbkreisförmige oder nach den befonderen Verhältniffen auch noch andere Grundrifsgeftalten.

Conftruction und Ausführung geftalten fich am einfachften, wenn man das Deckenlicht, bezw. die verglaste Decke eine einzige wagrechte Ebene bilden läfft. Indefs wird man nur bei Deckenlichtern von geringer Ausdehnung die Tragefproffen völlig wagrecht anordnen; meift werden fie fchwach anfteigend ausgeführt, weil dadurch einerfeits ein befferes Ausfehen erreicht, andererfeits auch vermieden wird, dafs in Folge des unvermeidlichen Sackens der Sproffen die Glasfläche eine nach unten gewölbte Form erhält.

Man hat aber die Glasflächen auch ftärker anfteigen laffen, fo dafs das Deckenlicht, bezw. die Glasdecke die Form eines flachen Sattel- oder Zeltdaches, wohl auch die Geftalt einer abgeftutzten Pyramide erhalten hat; felbft nach oben gekrümmte Querfchnittsformen find ausgeführt worden. Im Nachftehenden werden mehrfach Beifpiele folcher gegliederter Glasdecken vorgeführt werden.

417.
Reinigung und Schutz der Glasflächen.

Ueber den verglasten Lichtflächen lagern fich Staub und andere Verunreinigungen ab, wefshalb dafür geforgt werden mufs, dafs eine zeitweilige Säuberung der

[203]) Häufig werden die Bezeichnungen »inneres Oberlicht« und »äufseres Oberlicht« gebraucht. Wie fchon bemerkt wurde, wird im Vorliegenden nur von erfterem, nicht aber von letzterem die Rede fein.

Glasfcheiben ftattfinden kann. Bei Deckenlichtern von geringerer Ausdehnung ift meift keine befondere Vorkehrung zu treffen, weil man die Reinigung in der Regel von ihrem Umfange aus vornehmen kann; es wird alfo nur Vorkehrung zu treffen fein, dafs die das Deckenlicht begrenzenden Streifen der Decke betreten werden können.

Bei gröfseren Deckenlichtern und Glasdecken hingegen hat man mehrfach Einrichtungen getroffen, durch welche das Begehen der verglasten Flächen, alfo auch das Vornehmen der Reinigung, von Ausbefferungen etc. möglich ift. Laufftege, wie fie bei Dachlichtern vorkommen[204]), find verhältnifsmäfsig felten zur Anwendung gebracht worden; meift werden einzelne hierzu geeignete Tragefproffen oder andere hauptfächlich tragende Conftructionstheile fo ftark ausgeführt, dafs ein Laufbrett über diefelben gelegt werden und ein Arbeiter darauf treten kann.

Bisweilen hat man fefte oder bewegliche Leitern zu gleichem Zwecke angeordnet; letztere laufen mit ihren Rollen in einem Abftande von ca. 20 bis 30 cm über der Glasfläche auf Schienen, welche an den aufrechten Stegen hierzu geeigneter Tragefproffen angebracht find. Auch Rollwagen, deren Räder gleichfalls auf Schienengleifen fahren und die durch ein Triebwerk in Bewegung gefetzt werden, find angewendet worden.

Bei einigen Ausführungen erfolgt die Säuberung der Glasflächen von Staub und Schmutz durch Abfpülen mit Waffer; in einiger Höhe über der Glasdecke, z. B. längs des Firftes des über derfelben befindlichen Daches etc., ift zu diefem Ende ein Wafferrohr angeordnet, oder es wird eine einfache, an die Wafferleitung angefchraubte Schlauchfpritze in Anwendung gebracht. Es empfiehlt fich in diefem Falle, die Glasdecke ohne Querfproffen zu conftruiren und derfelben ein entfprechendes Gefälle zu geben; das Spülwaffer wird am beften nach einer kleinen Traufrinne mit Abfallrohr geleitet.

Wenn die Möglichkeit vorliegt, dafs von oben aus fchwerere Gegenftände (z. B. Bruchftücke von dem Dachlicht angehörigen Glasfcheiben etc.) auf die verglasten Deckenflächen fallen können, wodurch der Bruch einzelner ihrer Glasfcheiben hervorgebracht werden könnte, fo ift die Gefahr vorhanden, dafs die im darunter befindlichen Raume fich aufhaltenden Perfonen etc. befchädigt werden. In folchen Fällen mufs über der verglasten Deckenfläche ein Gitterwerk oder ein Drahtnetz angeordnet werden, welches die herabfallenden Gegenftände aufzuhalten hat. Daffelbe bringt allerdings den Mifsftand mit fich, dafs es nicht allein den Lichteinfall etwas beeinträchtigt, fondern auch die Reinigung der Glasflächen erfchwert. Letzterem Uebelftande liefse fich wohl dadurch abhelfen, dafs man das fchützende Drahtnetz unterhalb der verglasten Deckenfläche anbringt; allein das Ausfehen der letzteren würde dadurch ein unfchönes werden. Sind es fonach nur zerbrochene Glasfcheiben des über der Decke befindlichen Dachlichtes, welche gefürchtet werden, fo wähle man am beften für letzteres eine Glasforte, die das Zerbrechen fo gut wie ausfchliefst: Rohglas von genügender Dicke, Prefshartglas oder, noch beffer, Drahtglas.

418. Schweifswafferbildung.

Wenn wärmere, ftark angefeuchtete Luft die verglasten Theile der Decke an der Unterfeite trifft, fo wird fich an denfelben, insbefondere an den die Wärme gut leitenden metallenen Conftructionstheilen, Waffer in Tropfenform niederfchlagen; diefes Schweifs-, Schwitz-, Befchlag- oder Condenfationswaffer darf weder die Erhellung

204) Siehe Theil III, Band 2, Heft 5 (Abth. III, Abfchn. 2, F, Kap. 42) diefes »Handbuches«.

beeinträchtigen, noch von der Decke herabtropfen. Die Menge des fich niederfchlagenden Waffers hängt einerfeits von dem Mafse ab, in welchem der Raum unter der Decke mit feuchtwarmer Luft gefüllt fein wird, andererfeits davon, ob der Raum zwifchen innerer Glasdecke und äufserem Dachlicht auf die Dauer genügend warm gehalten werden kann, fo dafs die verglasten Lichtflächen nicht zu ftark abgekühlt werden.

Erhebt fich über dem Deckenlicht ein feitlich abgefchloffener Lichtfchacht von genügender Höhe, fo wird die auf erfteres ausgeübte Abkühlung nur eine fehr geringe und Vorkehrungen zur Abführung des Schweifswaffers werden alsdann kaum nothwendig fein. Würde man den Raum zwifchen Decken- und Dachlicht völlig luftdicht abfchliefsen können, fo wäre jedem Befchlagen des erfteren vorgebeugt. Sobald jedoch über den verglasten Lichtflächen ein derartiger Lichtfchacht fehlt, fo wird zur kälteren Jahreszeit eine ftärkere Abkühlung derfelben kaum ausbleiben, insbefondere wenn die das Dachlicht umgebenden Dachflächen eine nicht zu dichte Eindeckung, namentlich eine folche ohne Bretterverfchalung oder gar eine Metalldeckung, erhalten. Im letzteren Falle ift demnach ein bedeutenderes Befchlagen der Glasdecke zu erwarten, fobald die Luft unter derfelben warm und ftärker angefeuchtet ift, und es mufs bei der Conftruction hierauf Rückficht genommen werden.

In hierzu geeigneten Fällen befteht ein gut wirkfames Mittel gegen die Schweifswafferbildung darin, dafs man die Abluft-Canäle des unter der Glasdecke befindlichen Raumes, bezw. der benachbarten Räume in den Zwifchenraum zwifchen Decken- und Dachlicht leitet; da die Abluft immer warm fein wird, fo werden die Glasflächen auch von oben erwärmt und das Entftehen von Schweifswaffer dadurch vermieden.

Bisweilen hat man die Bildung von Schweifswaffer an der Unterfeite der Glasdecke dadurch zu verhüten verfucht, dafs man, ähnlich wie bei Schaufenftern, eine Luftunterfpülung derfelben bewirkt hat. Man hat z. B. zwifchen der Unterkante der Glasdecke und der fie umfchliefsenden Umrahmung einen freien Zwifchenraum von einigen Centimetern Breite gelaffen oder einen durchbrochenen Fries angeordnet; es herrfcht alsdann ober- und unterhalb der Glasfläche eine fortwährende Luftbewegung; die Unterfeite derfelben wird abgekühlt, und das Befchlagen der letzteren wird nicht eintreten. Eine folche Unterfpülung ift indefs nicht leicht durchzuführen, und in nicht feltenen Fällen ift fie in Rückficht auf die Benutzung des unter derfelben befindlichen Raumes ausgefchloffen. Alsdann ift für Abführung des Schweifswaffers Sorge zu tragen, was meift dadurch gefchieht, dafs man die Sproffen mit geeigneten Schweifswafferrinnen verfieht; doch kann dies auch in der Weife bewirkt werden, dafs man das Deckenlicht über die Decke hinaushebt, um das Schweifswaffer über letztere hinaus ableiten zu können.

419. Wärmeftrahlung.

Der Zwifchenraum zwifchen verglaster Decken- und verglaster Dachfläche wird zur Sommerszeit durch die Sonnenftrahlen fehr ftark erwärmt; die Folge davon ift, dafs von der Glasdecke nach unten eine fehr bedeutende Wärmeftrahlung ausgeht, wodurch nicht felten im Raume unter der Glasdecke eine geradezu unerträgliche Hitze entfteht. Um einen folchen Zuftand zu verhüten, bringe man in den Dachflächen geeignete Oeffnungen an, die man im Winter fchliefsen und durch welche man im Sommer den erforderlichen Luftumlauf hervorbringen kann. In England werden zu gleichem Zwecke die Dachlichter alljährlich mit weifser Farbe angeftrichen. Ob durch Anwendung des von *Zsigmondy* erfundenen fog. Schirmglafes (für Wärme-

ſtrahlen undurchläſſiges Glas) dem in Rede ſtehenden Uebelſtande wird abgeholfen werden können, bleibt abzuwarten [205]).

Daſs bei jeder, auf anderweitigem Wege erzielten Erwärmung der verglasten Deckenflächen von oben der gleiche Erfolg erzielt werden kann, iſt ſelbſtverſtändlich.

420.
Deckenlicht-ſchächte.

Die Lichtſchächte, welche ſich über Deckenlichtern erheben, haben ähnlich wie die zur Lüftung, zur Aufnahme von Fahrſtühlen etc. dienenden Schächte den Nachtheil, daſs ſie bei ausbrechender Feuersgefahr die Verbreitung des Feuers in hohem Grade begünſtigen. Deſshalb iſt eine thunlichſt feuerſichere Umſchlieſsung derſelben zur Ausführung zu bringen.

Iſt eine unmittelbare Unterſtützung der Umfaſſungswände durch Mauern oder Träger zu ermöglichen, ſo ſind dieſelben maſſiv herzuſtellen; ſonſt muſs man ſich mit einer Ausführung in Drahtputz, mit *Rabitz*-Wänden oder einer ähnlichen, als feuerſicher anzuerkennenden Conſtruction begnügen. Die Umfaſſungswände ſind mindeſtens 20 cm über die Dachfläche zu führen und dürfen mit Fenſtern zur Erhellung der Dachbodenräume nicht verſehen werden.

421.
Sproſſen.

Für die Sproſſen der verglasten Lichtflächen werden meiſt paſſende Formeiſen gewählt. Es eignen ſich hierzu ſowohl hochkantig geſtellte Flacheiſen, **T**-, **I**- und **+**-Eiſen, als auch die bekannten Fenſter- oder Sproſſeneiſen (Fig. 618 u. 619 [206]).

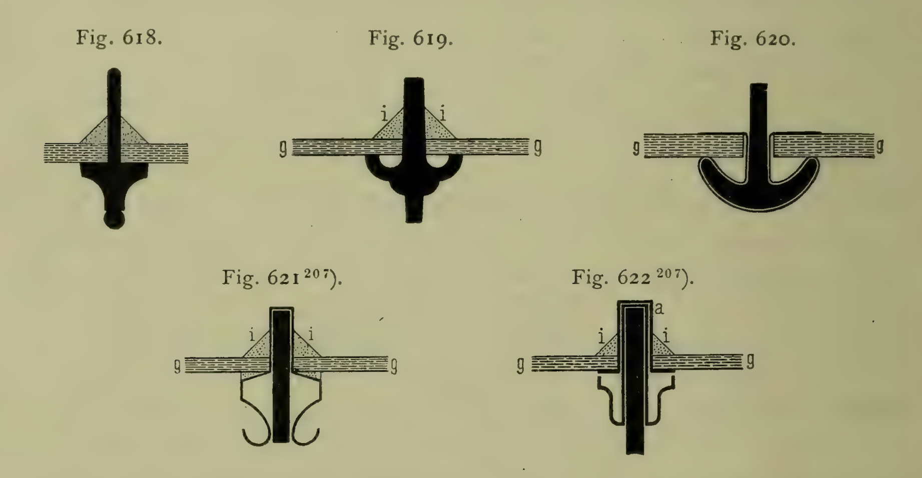


Fig. 618. Fig. 619. Fig. 620.

Fig. 621 [207]). Fig. 622 [207]).

Die in die Auflagerflächen der letzteren bisweilen eingewalzten Rinnen können etwa von oben kommendes Waſſer aufnehmen; doch erfüllen ſie nicht immer dieſen Zweck, weil ſie ſich durch Staub und Schmutz bald verſetzen. Für die Befeſtigung des Kittauflagers ſind ſolche Rinnen indeſs ganz zweckmäſsig. Sollen hochkantig geſtellte Flacheiſen in Verwendung kommen, ſo müſſen durch Kappen aus Zink-, Kupfer- oder Bleiblech die erforderlichen Auflagerflächen geſchaffen werden (Fig. 621 u. 622 [207]); dieſe Blechverkleidung kann auch dazu benutzt werden, etwa nothwendige Schweiſswaſſerrinnen zu bilden.

Auſser eiſernen Sproſſen kommen auch ſolche aus Zink und aus Meſſing, ſelbſt ſolche aus Holz zur Anwendung. Zinkſproſſen haben ſich nicht bewährt, weil dieſes

---

[205]) Siehe: Polyt. Journ., Bd. 287, S. 17, 68, 108 — ferner: Journ. f. Gasb. u. Waſſ. 1893, S. 574, 592, 610 — endlich: Deutſche Bauz. 1894, S. 161.

[206]) Siehe auch: Theil I, Band 1, erſte Hälfte (Art. 280, S. 192, unter *β* [2. Aufl.: Art. 268, S. 241, unter *b*]) des »Handbuches der Architektur«.

[207]) Nach: Centralbl. d. Bauverw. 1883, S. 245.

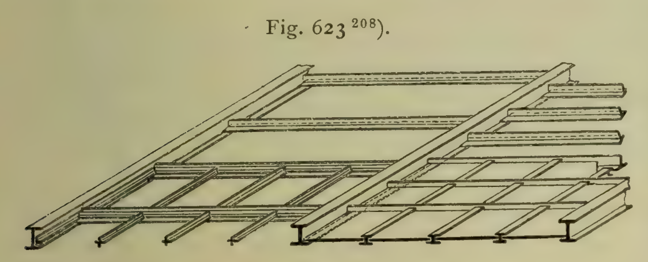
Metall eine nur geringe Tragfähigkeit befitzt und bei Temperaturfchwankungen fehr bedeutende Längenänderungen zeigt; beffer find Sproffen aus Zink mit Eifenkern.

Die Haupttragefproffen, welche in 50 bis 60 cm Abftand verlegt werden, werden am beften aus Formeifen hergeftellt; für die fie untertheilenden Zwifchenfproffen kann man unter Umftänden auch Meffing- und Holztheile benutzen (Fig. 623 [208]).

Anders geformte Sproffen, namentlich die fog. Rinnenfproffen, kommen hauptfächlich für verglaste Dächer und Dachlichter, fehr felten für Glasdecken und Deckenlichter zur Verwendung. In diefer Beziehung fowohl, als auch bezüglich mancher anderer Einzelheiten fei auf das in Theil III, Band 3, Heft 5 (Abth. III, Abfchn. 2, F, Kap. 39: Verglaste Dächer und Dachlichter) des »Handbuches der Architektur« Vorgeführte verwiefen.

Die Anordnung der Sproffen in einem rechteckig geformten Deckenlicht gewöhnlicher Art erfolgt nach Art eines eifernen Roftes, wie dies Fig. 623 [208]) zeigt. Bei anders geftalteten Deckenlichtern ift man in der Regel beftrebt, eine der Grundrifsform angepaffte, thunlichft regelmäfsige Sproffenvertheilung zu erzielen. Soll in der Verglafung ein geometrifches Mufter erfcheinen, fo ift letzteres für die Sproffenanordnung mafsgebend.

Fig. 623 [208]).



Während bei der Berechnung von verglasten Dächern und Dachlichtern aufser dem Eigengewicht der Conftruction auch die Beanfpruchung durch Winddruck und Schneelaft zu berückfichtigen ift, kommen bei Glasdecken und Deckenlichtern vielfach nur die vom Eigengewicht herrührenden Beanfpruchungen in Frage, fo dafs die Querfchnitte der Haupttragefproffen hiernach zu ermitteln find [209]). Wenn indefs bei gröfseren Glasdächern die Möglichkeit geboten fein foll, dafs Arbeiter unmittelbar über den Glasflächen Ausbefferungen, Reinigungen etc. vornehmen können, fo mufs bei Berechnung der Trag-Conftruction das Gewicht diefer Arbeiter, der von ihnen mitgeführten Geräthe etc. mitberückfichtigt werden.

422.
Verglafung.

Die Glasfcheiben werden meift in Kittfalze oder in Bleifaffungen verlegt. Bei Sproffen aus ⊥- und +-Eifen und folchen aus Fenftereifen ift, wie Fig. 618 u. 619 zeigen, das Einbetten in Kitt *i* ohne Weiteres möglich. Befteht die Sproffe aus hochkantig geftelltem Flacheifen, fo bietet entweder der Zinkmantel die Möglichkeit dar, die Glasfcheiben in Kitt zu verlegen (Fig. 621), oder man fetzt auf das Flacheifen zunächft eine Kappe *a* (Fig. 622) auf, die man am beften aus verbleitem Eifenblech herftellt, und auf den wagrechten Lappen diefer Kappe können die Glasfcheiben *g* in Kitt *i* gelagert werden.

Auf der Oberfeite von ⊥- und I-Eifen laffen fich Kittfalze nicht in genügend einfacher Weife bilden; auch geht bei letzteren in Folge von Bewegungen die erforderliche Dichtigkeit nicht felten verloren, und wenn das Eindringen von Waffer zu befürchten ift, fo fchützt man wohl auch den Kittfalz durch Deckleiften von Holz, Blei oder Zink. Diefe Mifsftände find bei Bleifaffungen nicht vorhanden. Letztere werden am einfachften durch Verwendung fog. Bleirippen hergeftellt, wie fie z. B.

[208]) Facf.-Repr. nach: Baukunde des Architekten. Bd. I, Theil 1. Berlin 1890. S. 568.

[209]) Die einfchlägigen Formen und Zahlenwerthe find an der eben genannten Stelle des »Handbuches der Architektur« zu finden.

Grover & Co. in Längen von ca. 5,5 m erzeugen. Fig. 624, *a* [210]) ftellt eine folche Rippe ohne Glaseinlage dar; diefelbe wird auf einer Holzunterlage mit Kupfernägeln befeftigt und nach dem Einlegen der Glasfcheibe entfprechend umgebogen, wodurch ein dichter Anfchlufs entfteht. Fig. 624, *b* zeigt die Verwendung der Bleirippen für hölzerne Sproffen und Fig. 624, *c* für folche aus **T**- und **I**-Eifen.

Fig. 624 [210]).

a

b

c

In Fig. 620 ift die von *Mackenzie* angegebene Bleifaffung dargeftellt; durch diefelbe wird der gröfste Theil des Fenftereifens eingehüllt, und auch die beiden Rinnen find mit Blei ausgefüttert.

Bleifaffungen gewähren noch den weiteren Vortheil, dafs fie nicht eine unveränderlich fefte Verbindung zwifchen Glasfcheibe und Sproffe herftellen, fo dafs bei ftarken Temperaturänderungen eine gewiffe Beweglichkeit der einzelnen Conftructionstheile möglich ift und die Glastafeln vor Bruch bewahrt find; auch fei erwähnt, dafs die Bildung von Schweifswaffer faft ganz vermieden ift, da fich die Temperatur innen und aufsen nahezu vollftändig ausgleicht.

Grofse Glastafeln hat man wohl auch ganz frei auf die Tragefproffen gelagert; Stofsfugen werden durch zwifchengelegte, den Fenfterbleien ähnliche, gezogene Meffingftreifen gedichtet.

Die Verglafung wird entweder mit gewöhnlichem, völlig durchfichtigem Glafe oder, wenn man die über der Glasdecke befindlichen Räume oder Conftructionstheile nicht fichtbar werden laffen will, mit matt gefchliffenem Glafe bewirkt; bisweilen verfieht man das letztere wohl auch mit einem dem Auge angenehmen Mufter. Wenn die Scheiben nicht zu grofs find, fo genügt in der Regel Fenfterglasftärke.

Hat man die Abficht, gewiffe Stimmungen oder Lichtwirkungen zu erzielen, fo verwendet man farbiges Glas; bei reich ausgeftatteten Glasdecken werden Gläfer in verfchiedenen Farben gewählt und zu einem nach geometrifchem Mufter oder in ornamentaler Weife geordneten, harmonifch wirkenden Ganzen zufammengefügt. Für die Ausbildung derartiger farbenreicher Glasdecken fei an diefer Stelle in Fig. 625 [211]) ein einfchlägiges Beifpiel hinzugefügt.

Im Gebäude des *Comptoir d'escompte* zu Paris hat *Corroyer* in der *Salle des titres* die einzelnen Felder der Glasdecke, welche durch die Längs- und Querfproffen gebildet werden, nicht durch in gleicher Ebene gelegene Glasfcheiben ausgefüllt, fondern die letzteren nach Art einer nach unten hängenden abgeftumpften Pyramide angeordnet [212]).

Um Schweifswafferbildung zu vermeiden, hat man in einigen Fällen das Deckenlicht mit doppelter Verglafung verfehen, welche eine völlig abgefchloffene Luftfchicht einfchliefst; letztere verhütet die Wirkungen einer von oben eintretenden Abkühlung.

423. Eintheilung.

Die conftructive Durchbildung von verglasten Decken und Deckenlichtern ift in ziemlich verfchiedener Weife ausgeführt worden. Im Nachftehenden follen diefelben unterfchieden werden in:

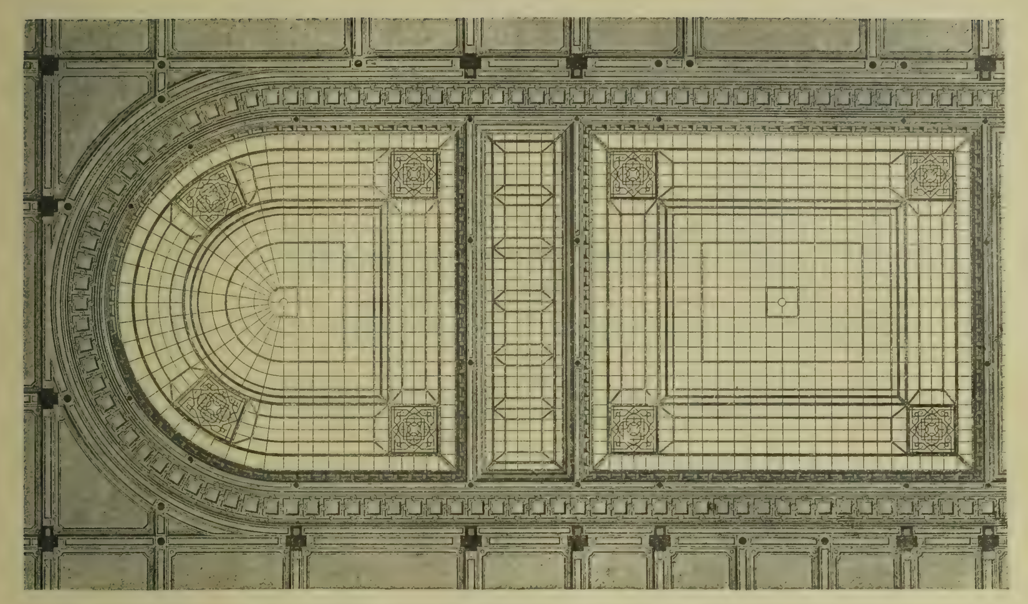
---

210) Nach: Deutfche Bauz. 1887, S. 417.

211) Facf.-Repr. nach: *Encyclopédie d'arch.* 1880, Pl. 653.

212) Siehe: Fortfchritte Nr. 2, S. 21 u. Fig. 38 (S. 23).

Fig. 625.



Von den *Magafins du Bon Marché* zu Paris [211]).

1/300 n. Gr.

1) folche, welche in eine tragende Decken-Conftruction eingefügt find;

2) folche, welche an einem Dachftuhl aufgehängt oder in anderer Weife mit demfelben verbunden find, und

3) folche, welche durch befondere Trag-Conftructionen geftützt werden.

Nicht alle einfchlägigen Ausführungen laffen fich in eine diefer drei Gruppen einreihen, da fie nicht felten eine Vereinigung von zwei verfchiedenen Anordnungen darftellen.

2) In tragende Decken-Conftructionen eingefügte Deckenlichter.

424. Deckenlichter in Balkendecken.

Wenn ein Deckenlicht in eine tragende Decken-Conftruction eingefügt oder über einem Raume eine durchweg verglaste Decke hergeftellt werden foll, fo ift ftets ein Rahmen erforderlich, der die verglasten Deckenflächen umfafft und welcher dem aus den Tragefproffen gebildeten Roft als Auflager dient. Die Anordnung ift verfchieden, je nachdem das Deckenlicht in eine Balken- oder in eine gewölbte Decke eingefetzt wird.

Auch bei den in Balkendecken eingefügten Deckenlichtern herrfcht bezüglich der conftructiven Anordnung ziemliche Mannigfaltigkeit; die bemerkenswertheften Herftellungsweifen feien im Folgenden vorgeführt.

α) Ift das Deckenlicht in eine hölzerne Balkendecke einzufetzen, fo wird, obwohl felten, der daffelbe umfaffende Rahmen in Holz hergeftellt. Fig. 627 [213]) zeigt eine folche Ausführung.

Die Rahmenhölzer find feitlich an die Deckenbalken angefchraubt, und damit die ganze Conftruction ein leichteres Ausfehen gewinnt, find die mittleren Deckenbalken fchwächer gehalten und mittels Hängefäulen mit dem Dachftuhl verbunden.

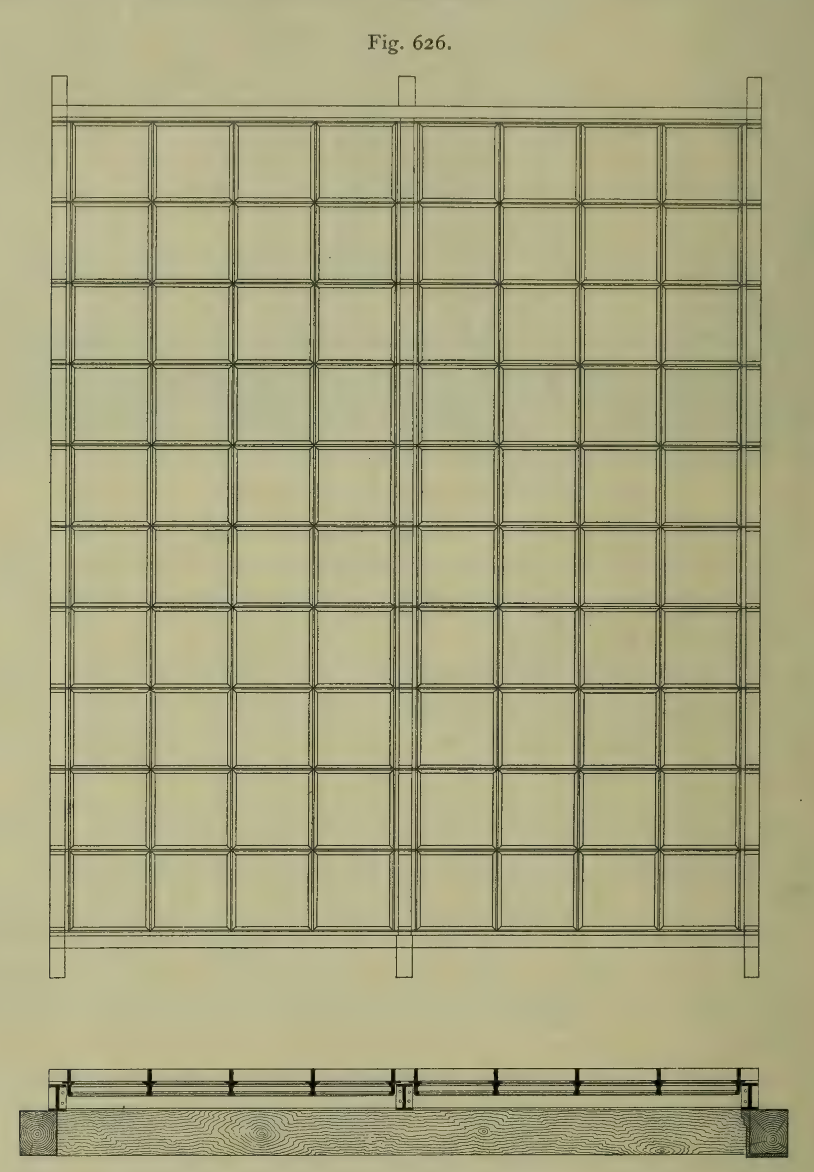
β) Viel häufiger wird der Rahmen aus Formeifen hergeftellt, und es eignen hierzu fich insbefondere I-Eifen. Sind die Grundrifsabmeffungen des Deckenlichtes

213) Nach: Allg. Bauz. 1884, Bl. 14.

fo grofse, dafs der aus den Tragefproffen gebildete Roft fich nicht frei trägt, fo werden, wie Fig. 626 zeigt, ein oder auch mehrere Zwifchenträger angeordnet.

In Fig. 626 ift der aus I-Eifen gebildete Rahmen auf die Holzbalken der tragenden Decke gelegt; auf diefem Rahmen, fo wie auf einem eingefchalteten Zwifchenträger ruht der aus Sproffeneifen zufammengefetzte Roft, in den die eingekitteten Glastafeln eingefügt find.

Fig. 626.



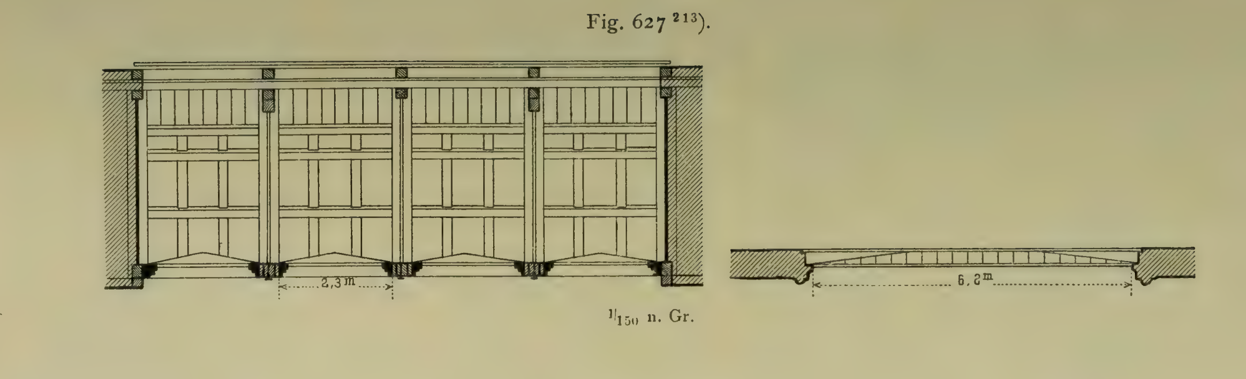
Vom Empfangsgebäude auf dem Hauptbahnhof zu Hannover.

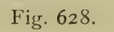
$^{1}/_{50}$ n. Gr.

γ) Eiferne Rahmen ähnlicher Art werden auch verwendet, wenn über einem Raume eine durchwegs verglaste Decke auszuführen ift. Durch Fig. 629 ift eine derartige Anordnung veranfchaulicht.

Die tragenden I-Eifen find hier von einer Längsmauer zur anderen geftreckt und an den Enden eingemauert; an diefen Längsmauern find eingefchobene I-Eifenftücke verlegt und mit den erftgedachten I-Trägern durch Winkellafchen verbunden.

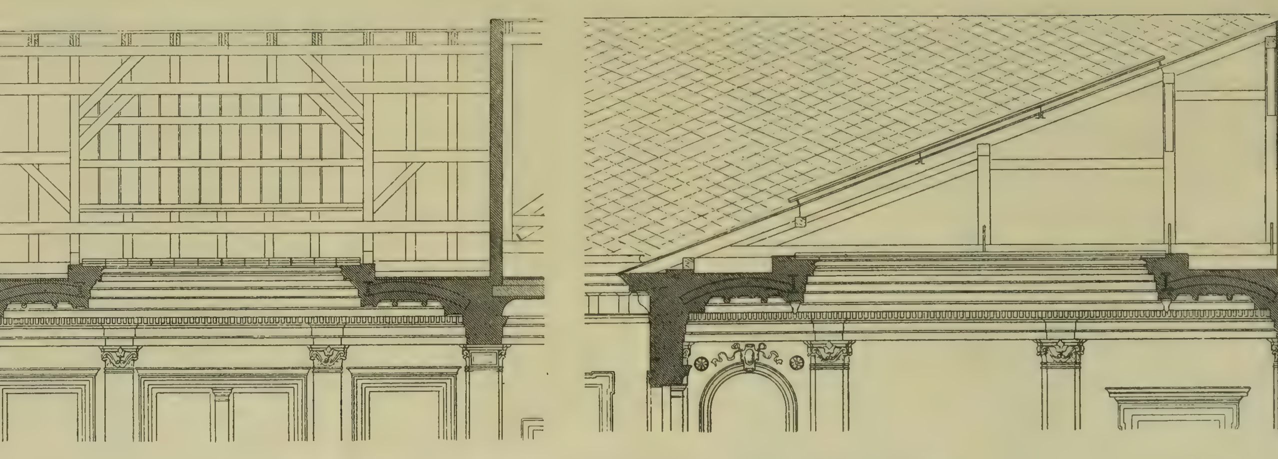
Fig. 627[213]).





$^1/_{150}$ n. Gr.

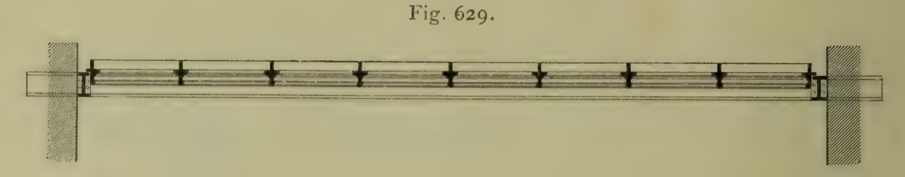
Fig. 628.



Von der Kunſtgewerbeſchule des öſterreichiſchen Muſeums zu Wien[214]).

$^1/_{125}$ n. Gr.

Fig. 629.



Vom Empfangsgebäude auf dem Hauptbahnhof zu Hannover.

$^1/_{50}$ n. Gr.

425.
Deckenlichter mit Hohlkehlen.

Gröfsere, von oben zu erhellende Räume erhalten nicht felten ein central angeordnetes Deckenlicht, deffen Umrahmung in der Weife gebildet wird, dafs man der Länge und der Quere nach je zwei fchmiedeeiferne **I**-Träger (Walzbalken oder bei gröfseren Abmeffungen Blechträger) verlegt; auf letzteren ruht das Sproffenwerk des Deckenlichtes. Der Zwifchenraum zwifchen jedem diefer Träger und der nächft gelegenen Umfaffungsmauer wird alsdann durch ein zwifchengefpanntes Kappengewölbe ausgefüllt, welches eben fo die in Stuck etc. auszubildende Decke trägt, wie auch unter Umftänden den Fufsboden des darüber gelegenen Raumes.

In verhältnifsmäfsig feltenen Fällen liegen die beiden Kämpferlinien diefer Gewölbe in gleicher oder doch nahezu gleicher Höhe (Fig. 628 [214]); viel häufiger kommt es vor, dafs diefelben von den **I**-Trägern aus nach den Umfaffungsmauern zu erheblich abfallen und alsdann fog. Decken-Hohlkehlen oder Vouten bilden (Fig. 630 [215]); ja es fehlt nicht an Beifpielen, wo fich diefe Hohlkehlen mit Stichkappen an die Rahmenträger anfchliefsen. Würde man nun diefe Hohlkehlen als wirkliches Spiegelgewölbe conftruiren, fo hätte diefes auch die Laft der Rahmenträger aufzunehmen, und die gefammte Conftruction wäre erft im nächftfolgenden Artikel (bei den in gewölbte Decken eingefügten Deckenlichtern) zu befprechen. Um jedoch das für ein Spiegelgewölbe erforderliche kräftige Widerlager zu umgehen, ift es vortheilhafter und wird meiftens auch fo ausgeführt, dafs man die Rahmenträger des Deckenlichtes bis auf die Umfaffúngsmauern des betreffenden Raumes überftreckt und diefelben fo als felbftändige Träger geftaltet; fie bilden zugleich das eine Widerlager für das Hohlkehlengewölbe. In Fig. 631 [216]) ift eine flachere und in Fig. 632 [216]) eine fteilere Hohlkehle diefer Art dargeftellt; die eifernen Rahmenträger find nicht fichtbar, fondern mit Stuck umhüllt. In neuerer Zeit werden diefe Hohlkehlen auch aus *Rabitz*- oder aus *Monier*-Maffe hergeftellt (Fig. 633 [217]).

Anftatt die Hohlkehlen in der einen oder anderen Weife maffiv zu conftruiren, kann man diefelben auch nach dem fonft üblichen Verfahren aus Holz mit Putzverkleidung herftellen; ja man hat an deren Stelle bisweilen nur einen fchräg anfteigenden Deckenftreifen aus Holz zur Ausführung gebracht (Fig. 635 [218]).

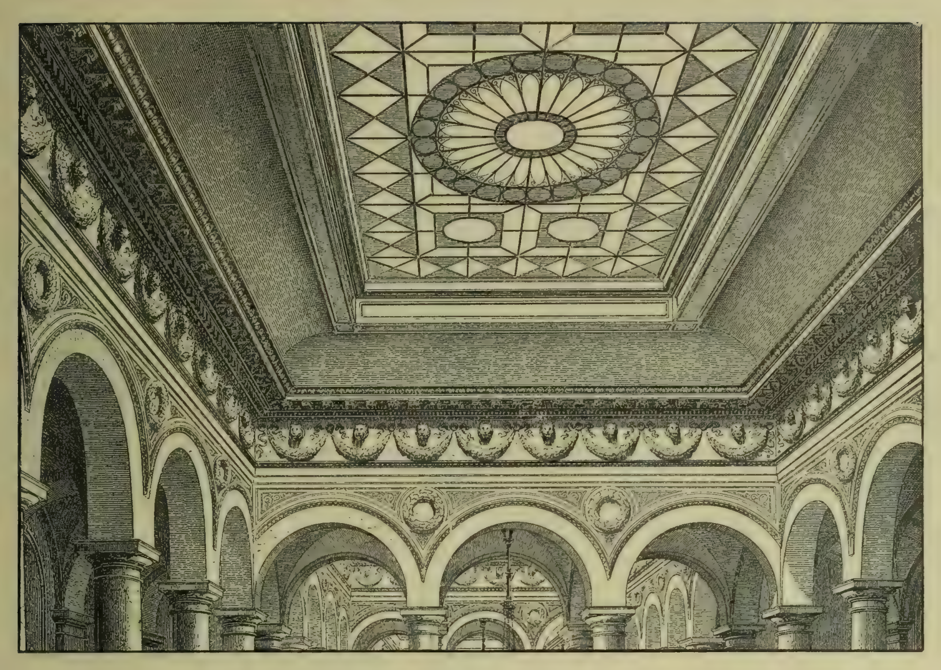
Schliefslich fei auch noch auf das in Art. 229 (S. 336) über die Conftruction und Berechnung von Spiegelgewölben in Eifen und Stein Gefagte verwiefen.

426.
Deckenlichter in gewölbten Decken.

Soll in eine gewölbte Decke ein Deckenlicht eingefetzt werden, fo ift gleichfalls ein daffelbe begrenzender eiferner Rahmen anzuordnen, in welchem der Sproffenroft lagert, der die Verglafung aufzunehmen hat. Bei Tonnengewölben wird das

214) Nach: Allg. Bauz. 1881, Bl. 73.
215) Nach ebendaf. 1874, Bl. 10.
216) Facf.-Repr. nach ebendaf., Bl. 8, 9.
217) Facf.-Repr. nach: Zeitfchr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1891, Bl. 24.
218) Facf.-Repr. nach: Allg. Bauz. 1884, Bl. 57.

Fig. 630.



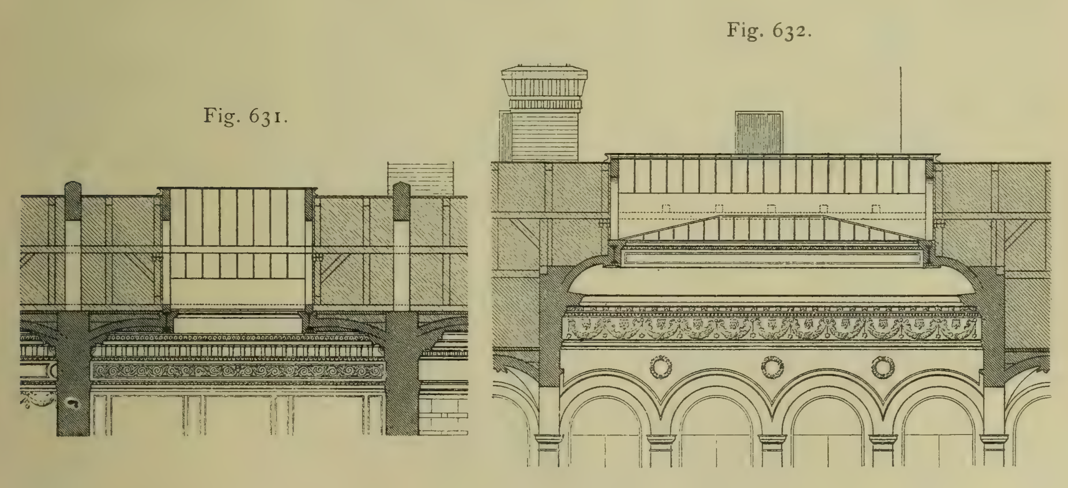
Vom römifchen Bad am Praterftern zu Wien [215]).

Deckenlicht im Grundrifs meift rechteckig, bei fphärifchen Gewölben meift kreisrund oder elliptifch geftaltet fein.

In Fig. 634 [219]) ift ein in ein Tonnengewölbe eingefügtes Deckenlicht, in Fig. 636 [220]) ein folches, das in eine Kugelkappe, und in Fig. 637 eines, welches in ein Kuppelgewölbe eingefetzt ift, dargeftellt.

Fig. 631.

Fig. 632.



Vom römifchen Bad am Praterftern zu Wien [216]).

1/150 n. Gr.

219) Facf.-Repr. nach: Zeitfchr. f. Bauw. 1877, Bl. 58 u. 59.

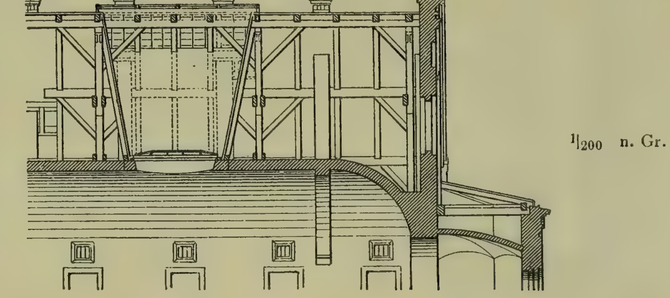
220) Facf.-Repr. nach ebendaf.

Fig. 633.

$^{1}/_{100}$ n. Gr.

Vom Hôtel Royal zu Hannover[217]).

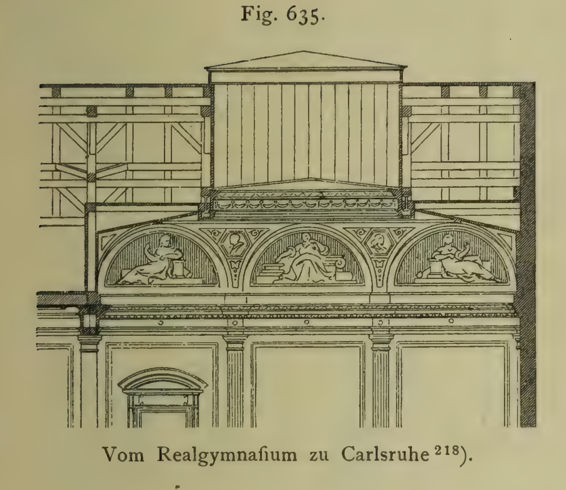
Fig. 634.



$^{1}/_{200}$ n. Gr.

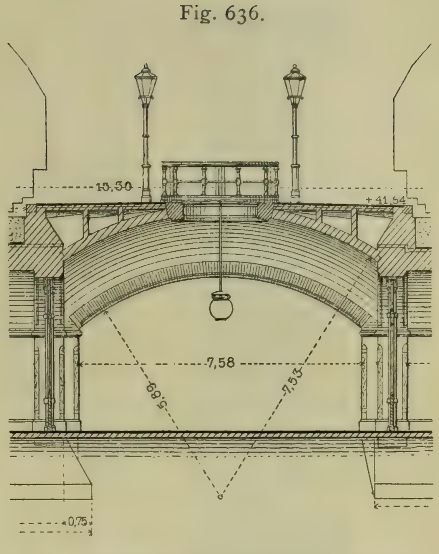
Von der Strafanstalt am Plötzen-See bei Berlin[219]).

Fig. 635.



Vom Realgymnaſium zu Carlsruhe [218]).

Fig. 636.



Von der Halteſtelle Zoologiſcher Garten der Berliner Stadt-Eiſenbahn [220]).

1/200 n. Gr.

Fig. 637.

1/200 n. Gr.

3) An Dachſtühlen hängende oder in anderer Weiſe damit verbundene Deckenlichter und Glasdecken.

427. Deckenlichter, an hölzernen Dachſtühlen hängend.

Wenn ein Deckenlicht gröſsere Abmeſſungen zu erhalten hat oder wenn die Decke, in welche daſſelbe einzuſetzen iſt, nicht kräftig genug conſtruirt iſt, um auch das Gewicht der verglasten Lichtflächenanlage mittragen zu können, ſo findet ſehr häufig das Aufhängen der letzteren an den darüber befindlichen Dachſtuhl ſtatt. In der Regel wird der das Deckenlicht begrenzende Rahmen mittels eiſerner Hängeſtangen mit einem dazu geeigneten Conſtructionstheil des Dachſtuhles verbunden; bei gröſseren Anlagen werden aber auch Haupttrageſproſſen der verglasten Lichtflächen an das Dachwerk gehängt.

Wenn zunächſt hölzerne Dachſtühle, an denen Deckenlichter aufgehängt ſind, berückſichtigt werden ſollen, ſo zeigt Fig. 638 [221]) eine ſehr einfache Ausführung dieſer Art. Aus der Abbildung iſt leicht zu erſehen, wie der hölzerne Rahmen des Deckenlichtes mittels eiſerner Hängeſtangen an den Sparren des Dachſtuhles hängt.

Eine etwas gröſsere einſchlägige Anlage iſt durch Fig. 639 [222]) veranſchaulicht. Die eiſernen Hängeſtangen, welche den Deckenlichtrahmen tragen, ſind an den Pfetten befeſtigt; über dem Dachfirſt iſt eine Laterne aufgeſetzt, deren lothrechte Längswände verglast ſind; die Dachflächen ſind mit Schiefer eingedeckt.

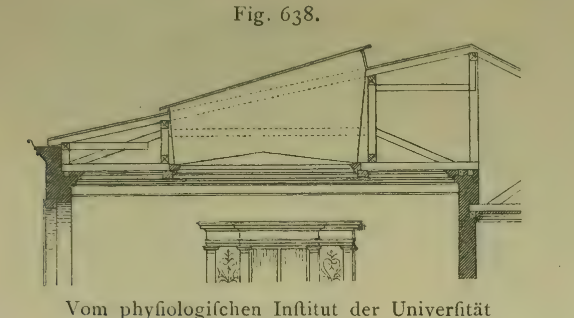
Ein weiteres Beiſpiel iſt in Fig. 642 [223]) dargeſtellt. Hier ſind es die Stichbalken der hölzernen Balkendecke, welche mittels eiſerner Stangen an die Dach-Conſtruction aufgehängt ſind.

221) Facſ.-Repr. nach: Allg. Bauz. 1883, Bl. 24.

222) Facſ.-Repr. nach ebendaſ., 1884, Bl. 24.

223) Facſ.-Repr. nach: Zeitſchr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1887, Bl. 11.

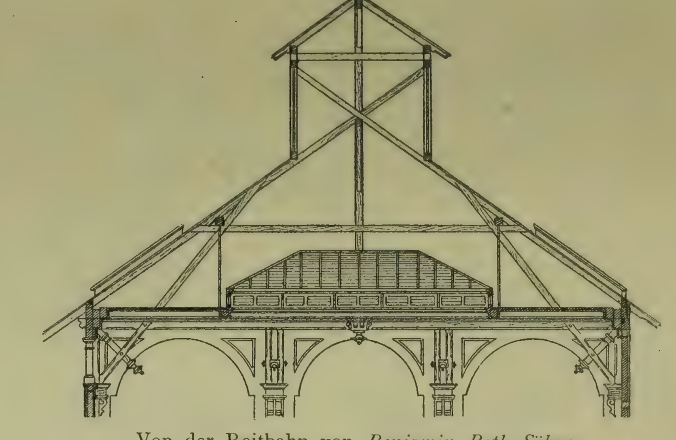
Fig. 638.



Vom phyfiologifchen Inftitut der Univerfität zu Heidelberg [221]).

$^{1}/_{200}$ n. Gr.

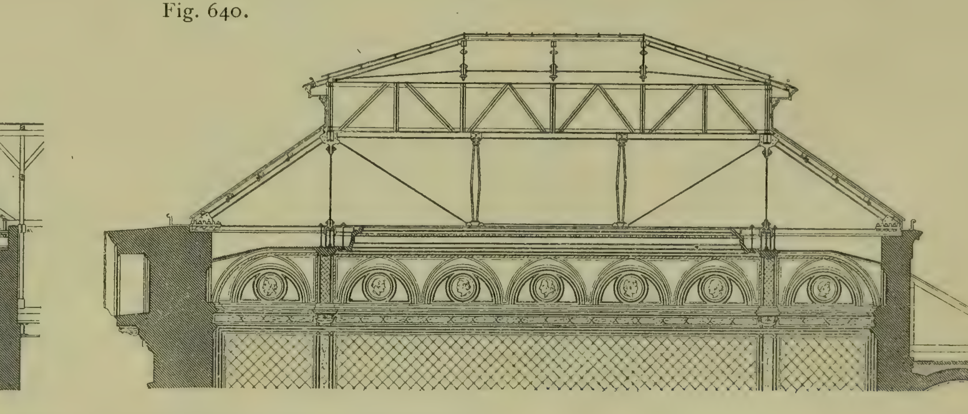
Fig. 639.



Von der Reitbahn von *Benjamin Roth Söhne* zu Frankfurt a. M. [222]).

$^{1}/_{200}$ n. Gr.

Fig. 640.



Vom Lefefaal der Univerfitäts-Bibliothek zu Budapeft [224]).

$^{1}/_{200}$ n. Gr.

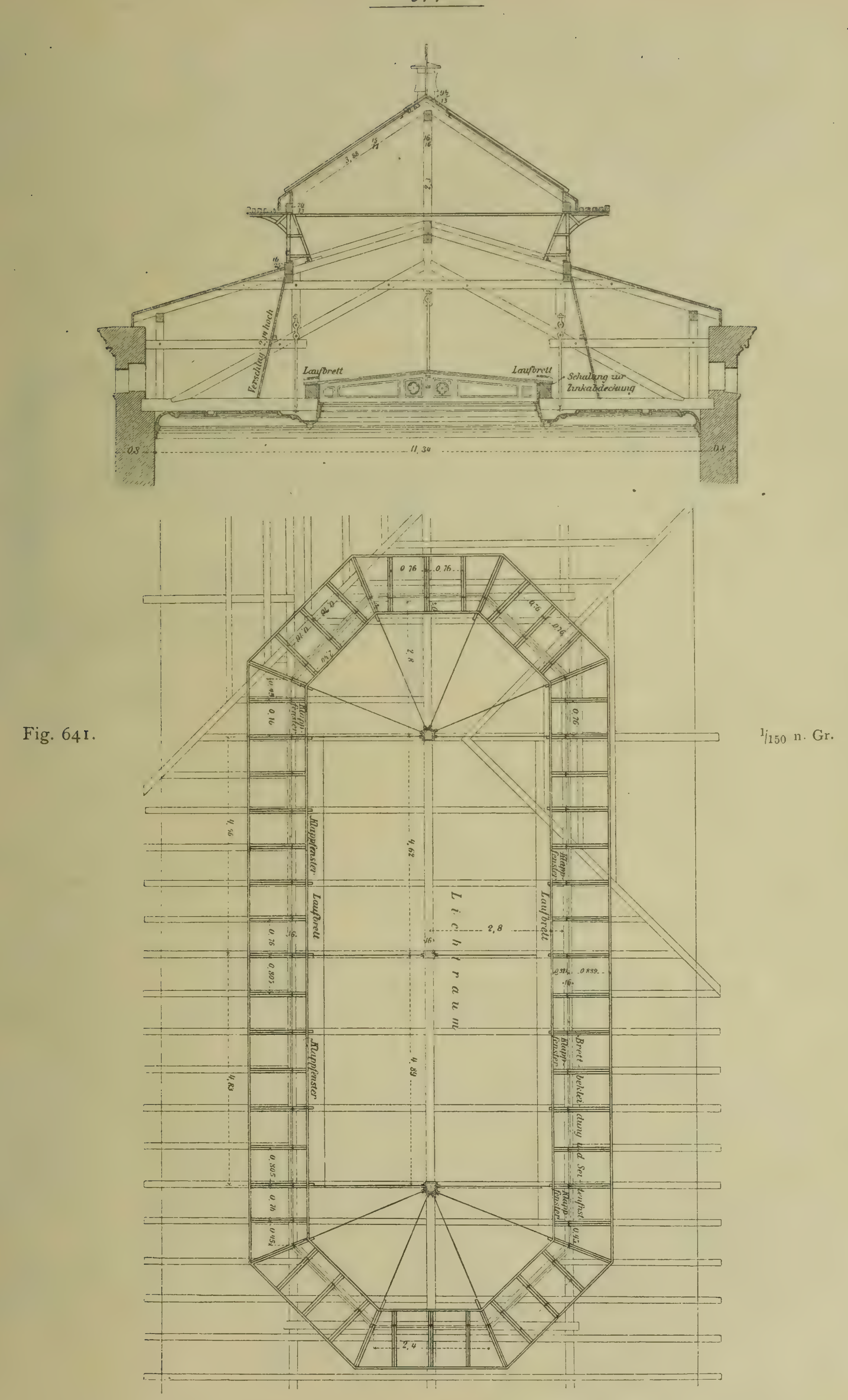


Fig. 641.

1/150 n. Gr.

Vom Lefefaal der Univerfitäts-Bibliothek zu Göttingen [223]).

Dieſes über einem groſsen Leſeſaal angeordnete Deckenlicht wurde nachträglich zur Ausführung gebracht, nachdem bereits das Dach eingedeckt worden war. Die in der Dachfläche vorhandenen Kehlen gaben Veranlaſſung zu den in Form von halben Achtecken hergeſtellten Endigungen des Deckenlichtes. Der über letzterem ſich erhebende, durch eine Bretterverſchalung gebildete Lichtſchacht hat behufs Durchlüftung Klappenfenſter erhalten; gleichem Zwecke dienen vier Luftſauger, welche auf der Zinkeindeckung des Dachfirſtes aufſitzen. Die Verglaſung iſt mit 3 mm dickem, mattirtem Glas bewirkt worden; für bequeme Reinigung der Scheiben wurden Laufbretter angeordnet.

Die durch Fig. 642 [225]) vorgeführte Ausführung unterſcheidet ſich von den Conſtructionen in Fig. 638, 640 u. 641 hauptſächlich dadurch, daſs in zwei über einander gelegenen Räumen Deckenlichter angeordnet ſind; beide ſind an dem darüber befindlichen hölzernen Dachſtuhl aufgehängt, der auch das Dachlicht trägt.

Fig. 642.

Vom Empfangsgebäude der Berlin-Potsdam-Magdeburger Eiſenbahn zu Berlin [225]).
1/200 n. Gr.

428. Dachlichter, an eiſernen Dachſtühlen hängend.

Für das Aufhängen von Deckenlichtern und verglasten Decken eignen ſich im Allgemeinen eiſerne Dachſtühle mehr als ſolche aus Holz, weil bei erſteren die verſchiedenen Conſtructionstheile viel kleinere Querſchnittsabmeſſungen haben und dadurch der Lichteinfall erheblich begünſtigt wird; auch hat man bei eiſernen Dachwerken in der Anordnung der hauptſächlich in Frage kommenden Conſtructionstheile meiſt viel freiere Hand als bei hölzernen.

Das Aufhängen geſchieht hier gleichfalls in der Weiſe, daſs man entweder den das Deckenlicht begrenzenden Rahmen oder bei gröſseren Anlagen die Hauptträger der verglasten Lichtflächen mittels eiſerner Stangen mit hierzu geeigneten Conſtructionstheilen des Dachſtuhles verbindet. Da die beiden Eiſen-Conſtructionen, namentlich zur Winterszeit, ziemlich verſchiedenen Wärmegraden ausgeſetzt ſind, ſo empfiehlt es ſich, die Anordnung ſo zu treffen, daſs dieſelben unabhängig von einander kleine Bewegungen machen können.

Ein Deckenlicht, deſſen Umfaſſungsrahmen an den Dachſtuhl aufgehängt iſt, iſt in Fig. 643 [226]) dargeſtellt; daſſelbe zeigt in conſtructiver Beziehung auch eine Verwandtſchaft mit den in Art. 425 (S. 572) beſprochenen Anlagen.

Fig. 640 [224]) zeigt eine Ausführung, bei welcher der das Deckenlicht einfaſſende Rahmen aus Blechträgern conſtruirt und mittels lothrechter eiſerner Stangen an die Dachpfetten angehängt iſt; überdies ſind auch die Querträger des Deckenlichtes durch ein Hängewerk mit dem Dachſtuhl verbunden.

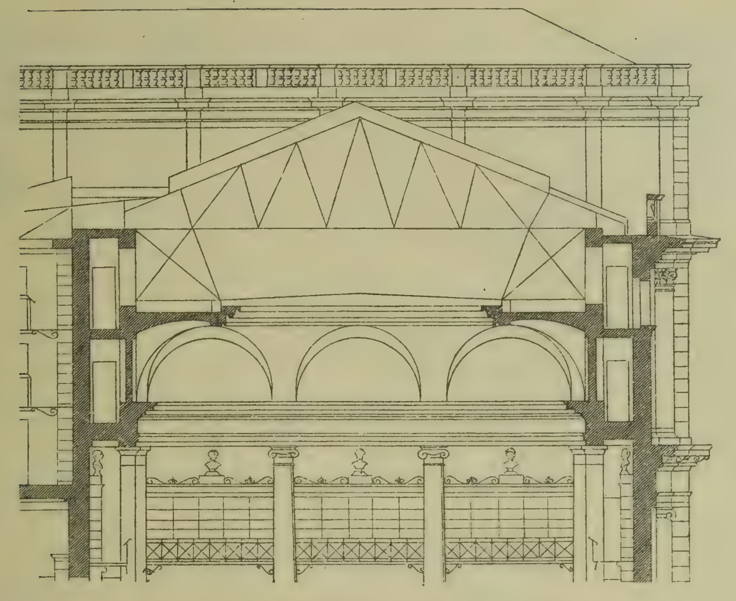
Die breite, durch Stichkappen unterbrochene Hohlkehle, welche das Deckenlicht umrahmt, iſt durch Zwickelfiguren, die Künſte und Wiſſenſchaften darſtellend, geziert, unter denen ſich Portrait-Medaillons hervorragender Vertreter derſelben befinden.

[224]) Facſ.-Repr. nach ebendaſ. 1880, Bl. 28.

[225]) Facſ.-Repr. nach: Zeitſchr. f. Bauw. 1877, Bl. 2.

[226]) Facſ.-Repr. nach: Allg. Bauz. 1884, Bl. 40.

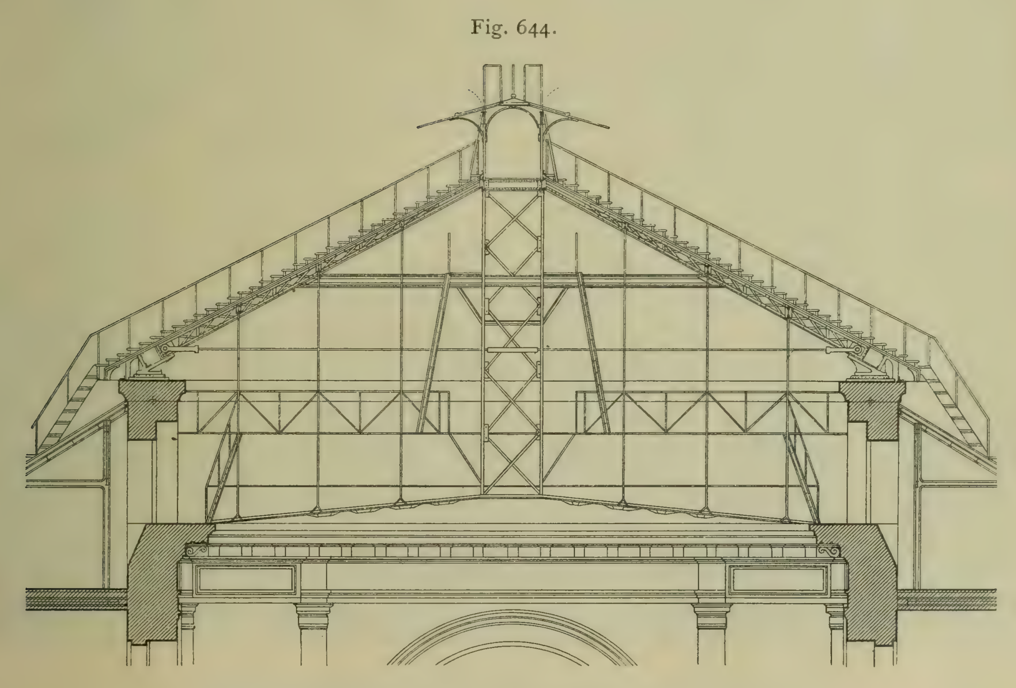
Fig. 643.



Von der Univerſitäts-Bibliothek zu Wien [226]).

1/250 n. Gr.

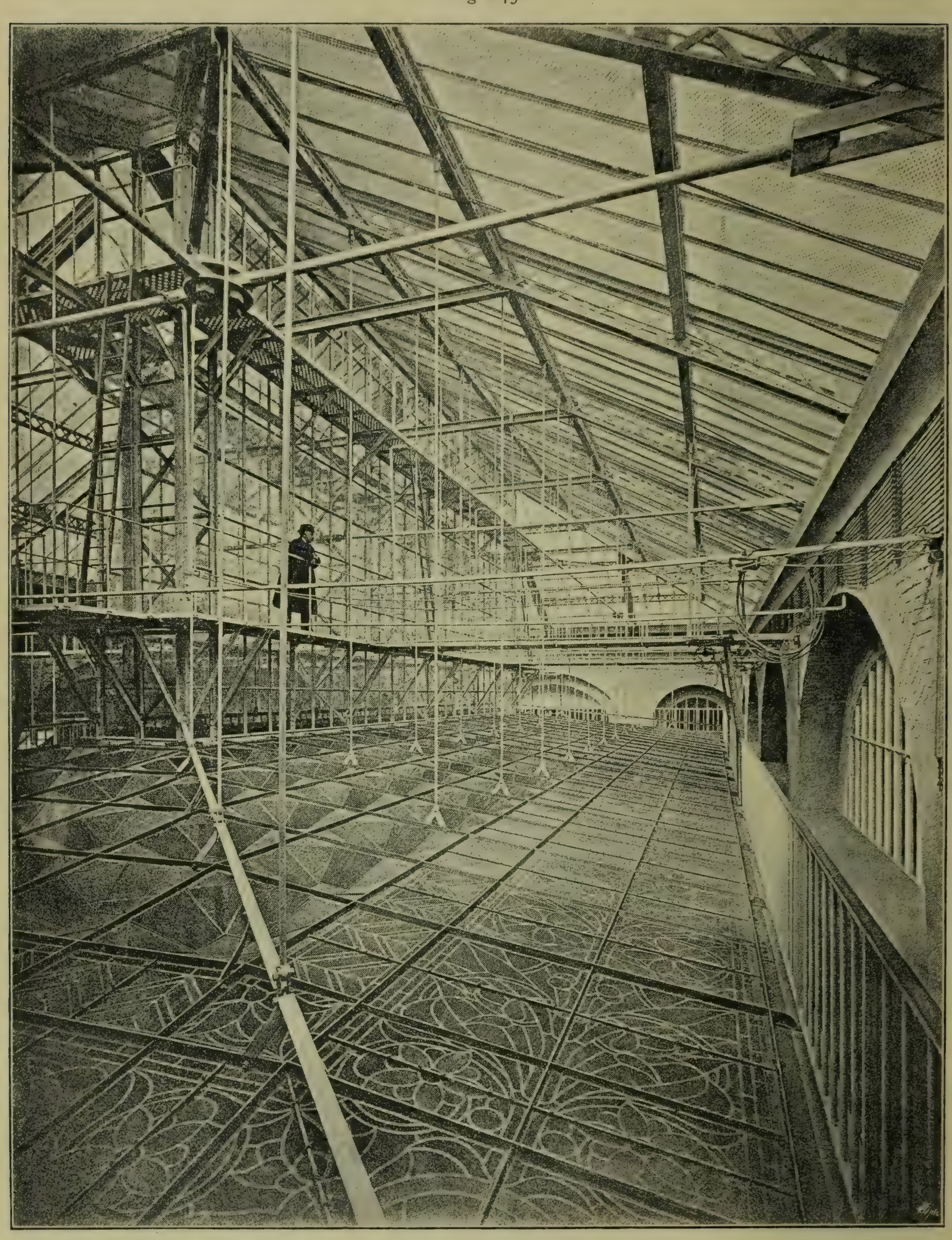
Fig. 644.



Von der *Salle des titres* im *Comptoir d'escompte* zu Paris [227]).

1/200 n. Gr.

Fig. 645.

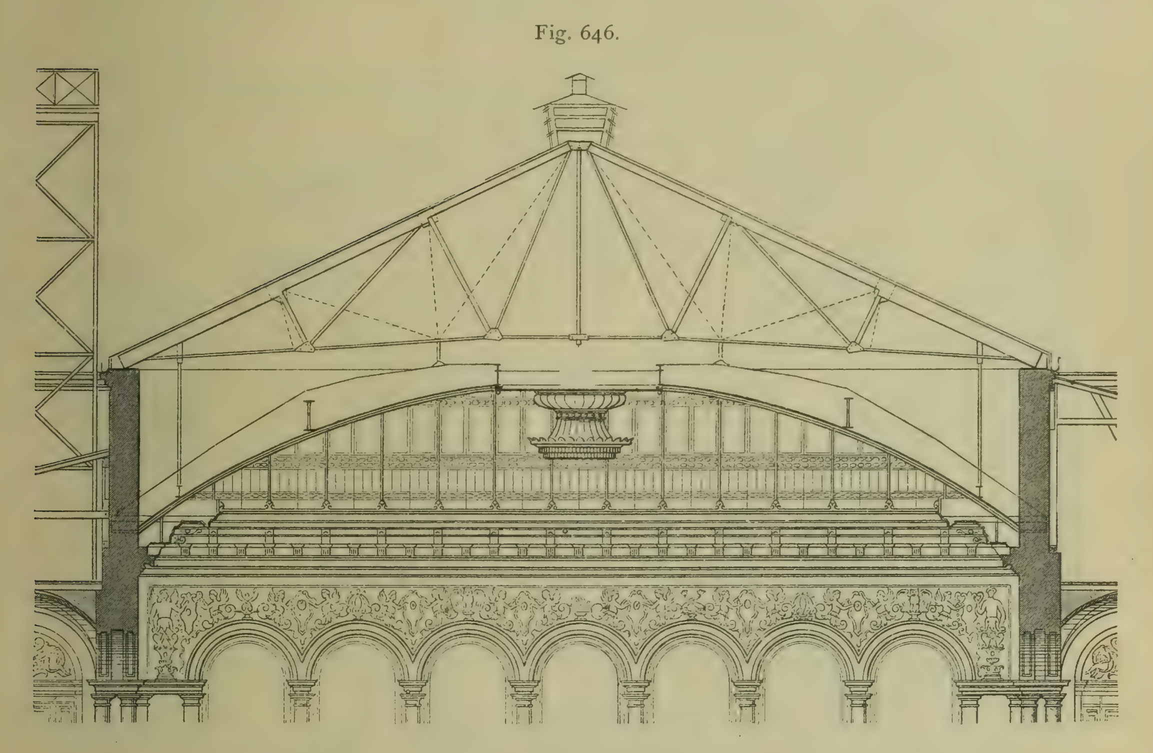


Von der *Salle des titres* im *Comptoir d'escompte* zu Paris [228]).

Als erftes Beifpiel einer verglasten Decke diene die in Fig. 644[227]) im Schnitt veranfchaulichte Anlage. Die Hauptträger der Verglafung find mittels lothrechter Eifenftangen an die Dachfparren gehängt, und Fig. 645[228]) giebt eine fchaubildliche Darftellung des Raumes zwifchen Decke und darüber befindlichem Dachlicht.

Der eigenartigen Anordnung der Glasfcheiben wurde bereits in Art. 422 (S. 568) gedacht. Aus Fig. 644 u. 645 find auch die Laufftege zu erfehen, welche fich über die ganze Decke erftrecken und jeden Theil derfelben zugänglich machen.

Fig. 646.



Vom grofsen Lichthof der technifchen Hochfchule zu Berlin-Charlottenburg[229]).

1/200 n. Gr.

Eine verglaste Decke von bedeutenden Abmeffungen, jene über dem grofsen Lichthof der technifchen Hochfchule zu Berlin-Charlottenburg, zeigt Fig. 646[229]). Diefelbe ift nach oben zu gewölbt und an das darüber befindliche eiferne Zeltdach gehängt.

Sie hat Bleiverglafung erhalten, und dicht über ihr liegt noch eine zweite Glasdecke von gewöhnlichem Doppelglas in Kitt, um Staub und Schmutz von der erfteren abzuhalten. Diefe Decke kann mittels gewöhnlicher Gartenfprenghähne gereinigt werden; das abfliefsende Waffer wird in Blechrinnen gefammelt und durch die Regenfallrohre abgeführt.

Auch die aus Fig. 647[230]) erfichtliche Glasdeckenanordnung hat beträchtliche Abmeffungen; der darunter befindliche Saal hat 255 qm Grundfläche.

---

227) Nach: *L'architecture*, Jahrg. 4, S. 534.

228) Facf.-Repr. nach: *Moniteur des arch.* 1885, Pl. 1.

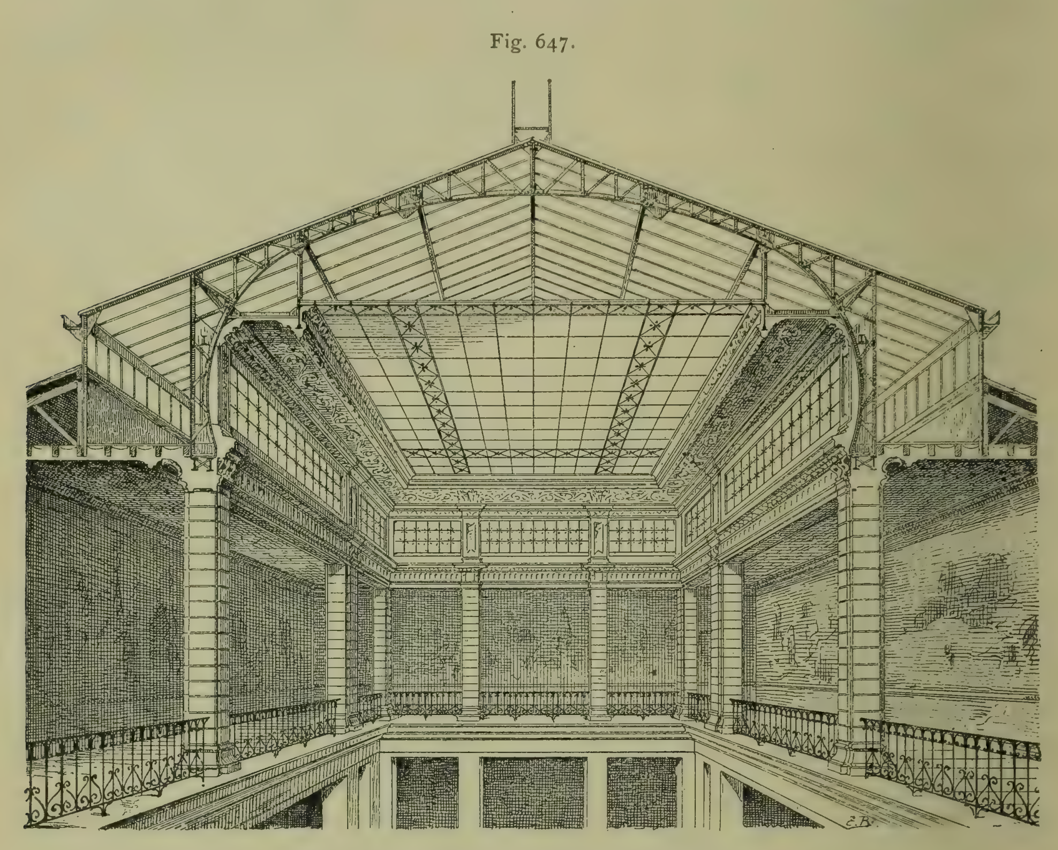
229) Facf.-Repr. nach: Zeitfchr. f. Bauw. 1886, Bl. 23.

230) Facf.-Repr. nach: *La conftruction moderne*, Jahrg. 8, S. 537.

Die eigenartig geformten Dachbinder bilden mit ihren nach aufsen gekehrten lothrechten Theilen die Stützen für die Galerie-Anlage, welche den Saal rings umgiebt. Der die Decke einfchliefsende, als Blechträger conftruirte Rahmen ift an die Dachbinder aufgehangen.

In Fig. 648 u. 649 [231]) ift eine reich gegliederte Glasdecke aus Paris dargeftellt. Die 6,8 m breiten Mitteltheile derfelben find als abgeftumpfte Pyramiden ausgebildet; der diefelben ftützende Rahmen ruht auf Eifenfäulen, wodurch fich diefe

Fig. 647.



Von der *Banque Secreftat* zu Bordeaux [230]).

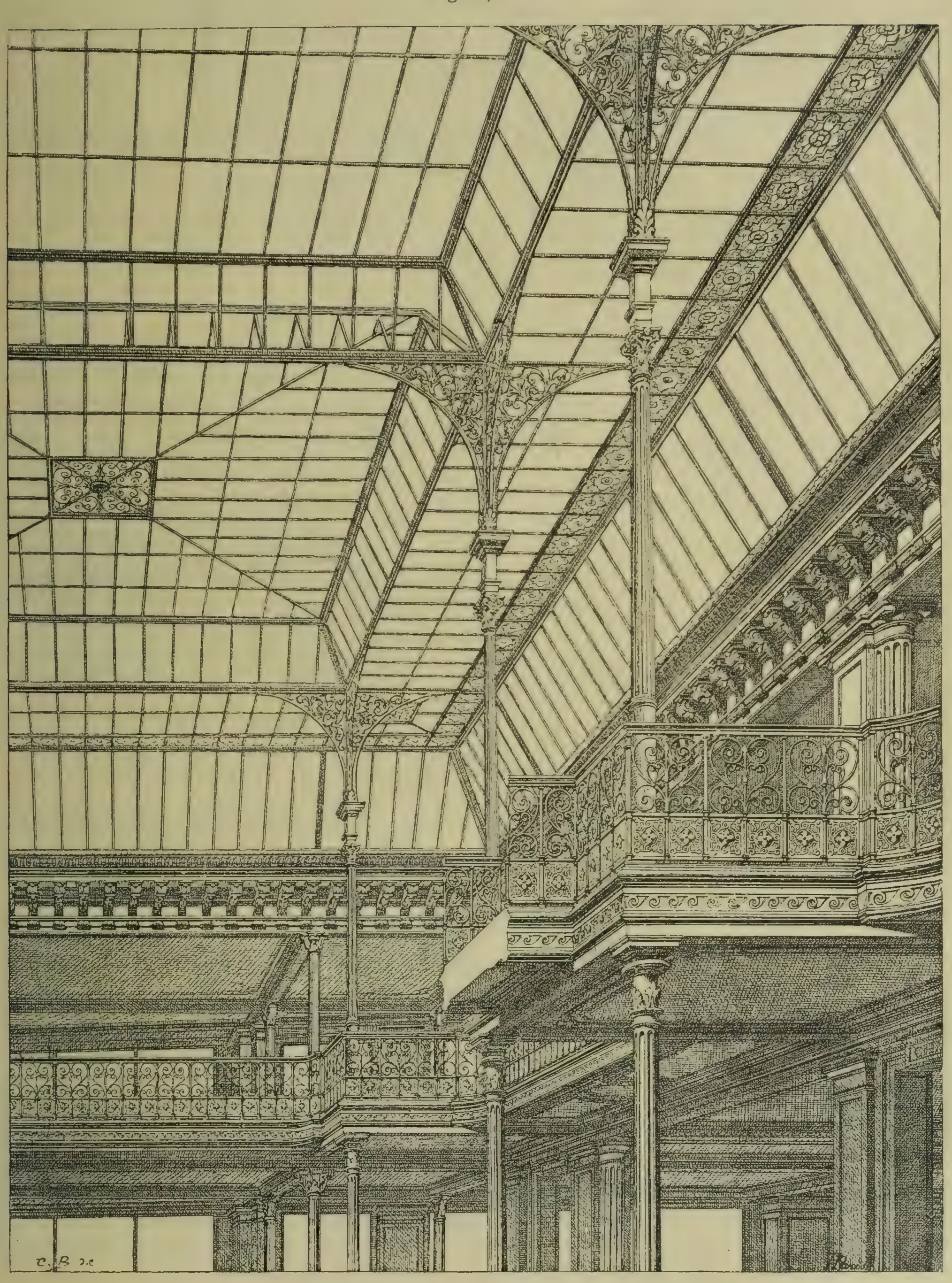
Decke den unter 4 vorzuführenden Conftructionen nähert. Im Uebrigen ift die Glasdecke zum gröfsten Theile an die Kehlbalken des darüber befindlichen Dachftuhles gehängt.

429.
Deckenlicht und Dachftuhl in anderer Weife vereinigt.

Der über einem Deckenlicht oder einer verglasten Decke befindliche Dachftuhl kann, aufser durch Aufhängung, auch noch in anderer Weife den Träger der erfteren bilden. Am häufigften wird dies in der Weife ausgeführt, dafs man die unteren Gurtungen oder andere wagrechte, bezw. liegende Conftructionstheile der Dachbinder unmittelbar zu Trägern der verglasten Lichtflächen macht; dabei wird verhältnifsmäfsig felten in Rückficht auf das Deckenlicht das Tragwerk in befonderer Weife geftaltet; meift find die Dachbinder nach den allgemein gebräuchlichen Syftemen geftaltet.

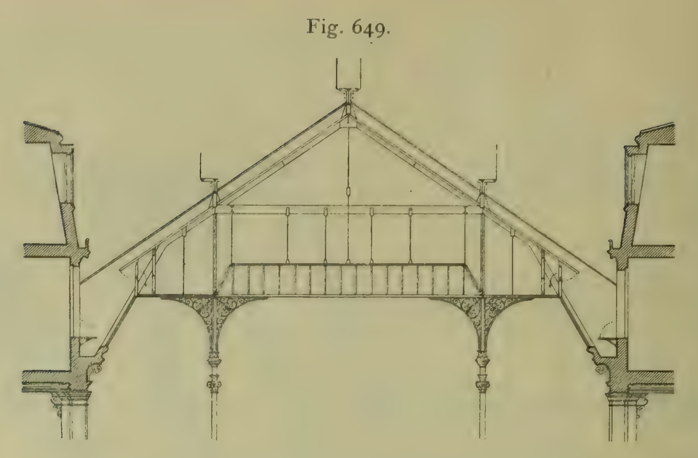
[231]) Nach: *L'architecture*, Jahrg. 4, S. 510, 511.

Fig. 648.



Von den *Magasins du Bon Marché* zu Paris [231]).

Fig. 649.

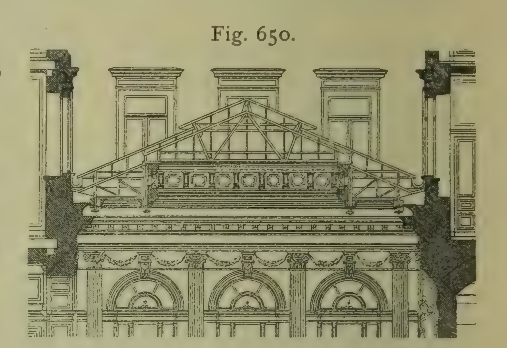


Von den *Magasins du Bon Marché* zu Paris [231]).

1/200 n. Gr.

Eine folche befondere Geftaltung des Tragwerkes zeigen allerdings die in Fig. 650 [232]) u. 651 [233]) dargeftellten Anlagen, die in gewiffem Sinne auch den Uebergang von den im vorhergehenden Artikel vorgeführten zu den in Rede ftehenden Conftructionen bilden, da dabei auch eine Aufhängung an den Dachftuhl fich vorfindet.

Fig. 650.

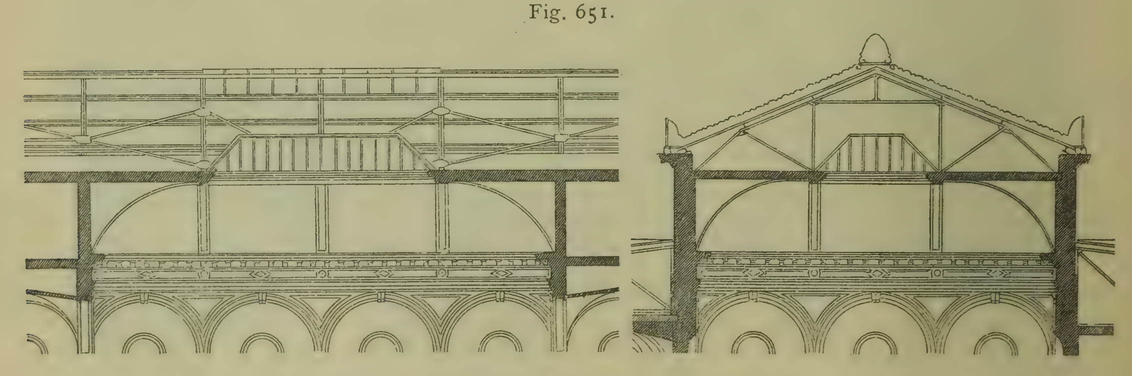


Vom Treppenhaus des Gebäudes der *Affcurazioni Generali* zu Trieft [232]).

1/200 n. Gr.

Bei der durch Fig. 652 veranfchaulichten Ausführung hingegen ift ein fonft auch übliches Syftem von Dachbindern zu erblicken; doch ift an denjenigen Knotenpunkten, in denen die Sparren geknickt find, der aus [-Eifen gebildete Rahmen befeftigt, auf welchem das Sproffenwerk des Deckenlichtes ruht. Zum Tragen des Sproffenwerkes dient auch noch ein ftärkerer Längsträger, welcher mit den Firft-Knotenblechen durch Hängeftangen verbunden ift.

Fig. 651.



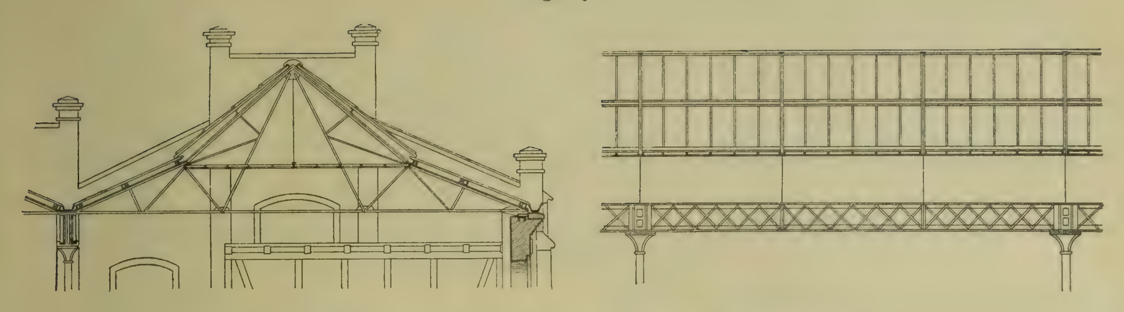
Von der öffentlichen Bibliothek zu Stuttgart [233]).

1/200 n. Gr.

232) Facf.-Repr. nach: Allg. Bauz. 1888, Bl. 58.

233) Facf.-Repr. nach ebendaf., Bl. 41.

Fig. 652.



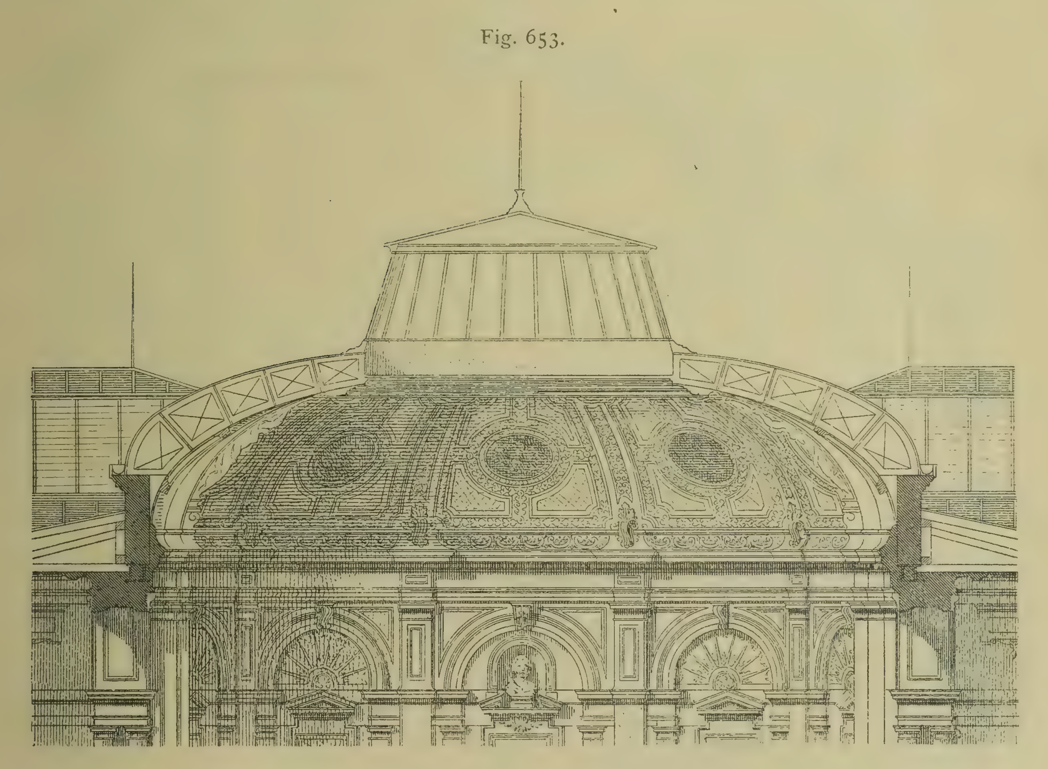
Vom Lackirerei-Gebäude auf dem Werkftätten-Bahnhof Leinhaufen.

$^1/_{100}$ n. Gr.

Eine unmittelbare Verwendung der Dachbinder in dem Sinne, dafs die obere Gurtung das Dachlicht, die untere Gurtung das Deckenlicht aufnimmt, geftattet u. A., wie Fig. 654 zeigt, in fehr einfacher Weife der fog. englifche Dachftuhl. Eine folche Ausführung ift z. B. über einem Deckenlichtfaal in der Bilder-Galerie des alten Mufeums zu Berlin [234]) zu finden.

Auch Kuppeldach-Conftructionen können, wie aus Fig. 653 [235]) erfichtlich ift,

Fig. 653.



Vom Kunft-Mufeum zu Bern [235]).

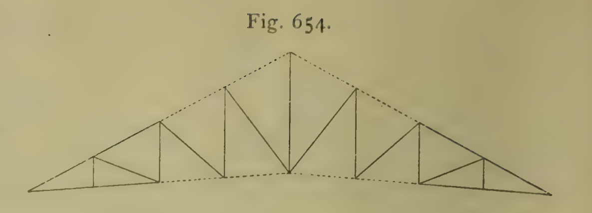
$^1/_{150}$ n. Gr.

234) Siehe darüber: Zeitfchr. f. Bauw. 1871, S. 185 u. Bl. H.

235) Facf.-Repr. nach: Allg. Bauz. 1881, Bl. 12.

in dem hier in Rede ſtehenden Sinne für die Anbringung der Deckenlichter ausgenutzt werden. In Fig. 653 nimmt der Druckring der Kuppel, welcher die Laterne zu tragen hat, auch den Umfaſſungsrahmen des Deckenlichtes auf.

Fig. 654.



4) Verglaste Decken und Deckenlichter mit beſonderen Trag-Conſtructionen.

430. Freiſtützen.

Wenn ein Deckenlicht, bezw. eine verglaste Decke bedeutende Abmeſſungen hat und wenn es aus irgend welchen Gründen nicht angeht, eine conſtructive Vereinigung mit dem darüber gelegenen Dachwerk durchzuführen, ſo müſſen beſondere Conſtructionstheile angeordnet werden, welche die verglasten Lichtflächen zu ſtützen, bezw. zu tragen haben. Verhältniſsmäſsig ſelten werden dieſe Conſtructionstheile unter die verglaste Decke geſetzt; meiſt befinden ſie ſich oberhalb derſelben. Hauptſächlich ſind es Freiſtützen, ausgekragte Träger, Blech- und Gitterträger verſchiedener Art, welche im vorliegenden Falle in Frage kommen.

Fig. 655.

Vom groſsen Lichthof des öſterreichiſchen Muſeums für Kunſt und Induſtrie zu Wien [236]).

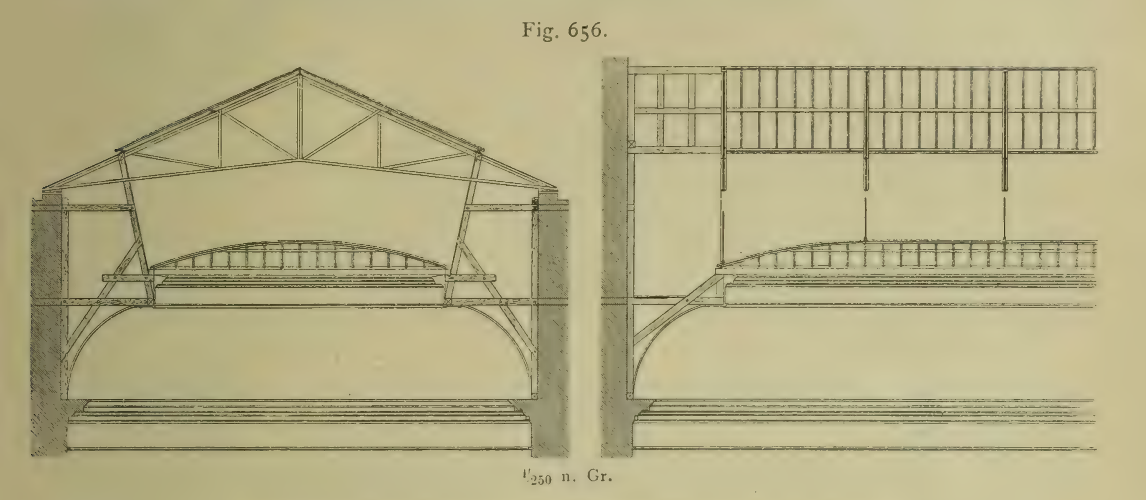
$^{1}/_{100}$, bezw. $^{1}/_{600}$ n. Gr.

Für die Anwendung von Säulen oder anderen Freiſtützen wurde in Fig. 648 u. 649 (S. 583 u. 584) bereits ein Beiſpiel vorgeführt.

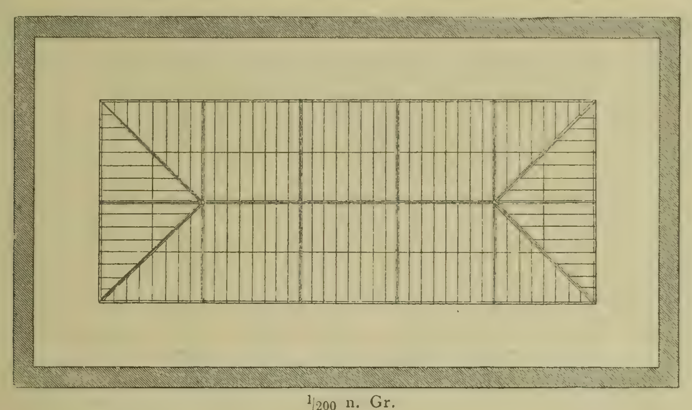
431.
Ausgekragte Träger.

Bei manchen Ausführungen wird der Rahmen, welcher die verglaste Decke, bezw. das Deckenlicht begrenzt, durch conſolenartige Träger geſtützt, welche in den Umfaſſungsmauern des betreffenden zu erhellenden Raumes in geeigneter Weiſe verankert ſind; bisweilen wird auch noch das Aufhängen an dem darüber befindlichen Dachſtuhle zu Hilfe genommen.

Fig. 656.



1/250 n. Gr.



1/200 n. Gr.

Vom öſterreichiſchen Muſeum für Kunſt und Induſtrie [238]).

Eine groſse Glasdecke letzterer Art iſt über dem 24,18 m langen und 16,36 m breiten Lichthofe des öſterreichiſchen Muſeums für Kunſt und Induſtrie zu Wien (Fig. 655 [236]) zu finden.

Dieſe Glasdecke wird theils durch Kraganordnungen unterſtützt, theils iſt ſie an den eiſernen Bindern des darüber befindlichen Dachſtuhles beweglich aufgehängt. Eine mächtige, mit Stichkappen verſehene Hohlkehle bildet die Umrahmung der Glasdecke; ſie iſt gemauert, und ihr ſehr bedeutendes Gewicht wird im Weſentlichen von eiſernen Kragträgern aufgenommen, welche zum Theile von den Dachbindern getragen werden, zum Theile in den Umfaſſungsmauern feſt verankert ſind. Fig. 655 zeigt dieſe Träger, und durch eine der beigefügten Theilabbildungen iſt die Verbindung der Hängeſtange mit den Hauptſproſſen der Glasdecke im Einzelnen veranſchaulicht [237]).

[236]) Facſ.-Repr. nach: Allg. Bauz. 1871, Bl. 58.

[237]) Bezüglich weiterer Conſtructions-Einzelheiten ſiehe: WIST, J. Studien über ausgeführte Wiener Bau-Conſtructionen. Wien 1872. S. 47 u. Taf. 39.

Fig. 657.

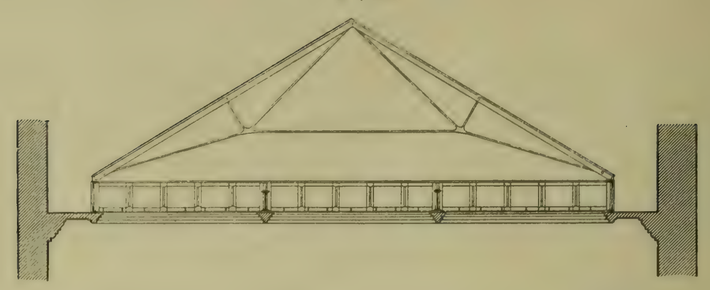
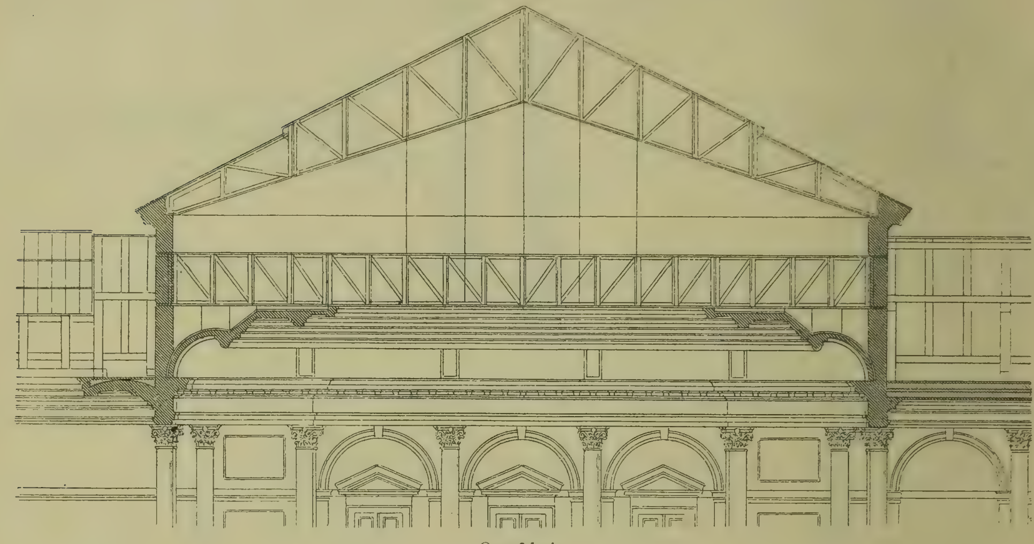
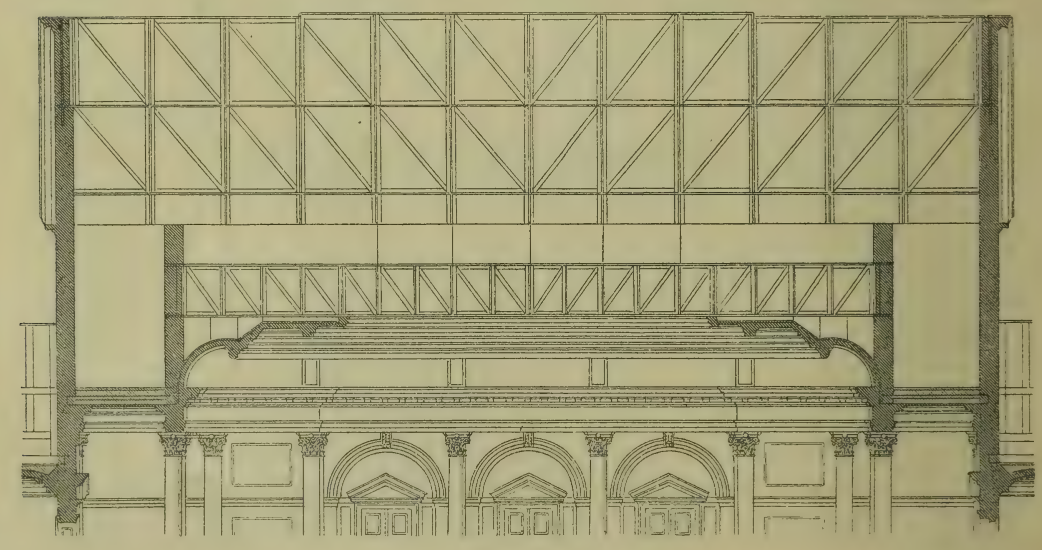


Fig. 658.



Querſchnitt.



Längenſchnitt.

Vom Sitzungsſaal des Landhauſes zu Brünn [239]).

$^{1}/_{200}$ n. Gr.

Derlei auskragende Conftructionstheile können auch in Holz ausgeführt werden, wie dies die Glasdecken in den Deckenlicht-Sälen deffelben Mufeums zeigen (Fig. 656 [238]).

432.
Blech-, Gitter- und andere Träger.

Im Allgemeinen einfacher geftaltet fich die Conftruction der verglasten Decken, wenn man ihr Sproffenwerk durch eiferne Träger, die als Blechträger, Gitterträger oder Bogenträger ausgebildet fein können, unterftützt. Die hauptfächlich vorkommenden Anordnungen find die folgenden:

α) Man bildet die vier Theile des rechteckigen Rahmens, welcher die Glasdecke, bezw. das Deckenlicht umfchliefst, als Blech- oder Gitterträger aus. Fig. 657 zeigt hierfür ein Beifpiel.

Hier ift der Rahmen aus vier Gitterträgern zufammengefetzt, auf deren unteren Gurtungen das Sproffenwerk ruht, während die oberen Gurtungen der beiden Längsträger der Ueberdachung als Auflager dienen. Der Rahmen felbft wird durch Kragträger geftützt; in der Längenrichtung der Glasdecke find noch zwei gewalzte **I**-Träger angeordnet, welche diefelbe in drei Felder theilen.

β) Eine weitere Anordnung befteht darin, dafs man in der Längen- und Querrichtung des zu überdeckenden Raumes ftärkere Träger verlegt, auf deren unteren Gurtungen das Sproffenwerk lagert. Bei etwas gröfserer Breitenabmeffung der Decke werden diefe Träger eine fo bedeutende Höhe erhalten, dafs man fie, des Lichteinfalles wegen, kaum als Blechträger, fondern als Gitterträger ausführen wird.

In Fig. 658 [239]) ift ein einfchlägiges Beifpiel veranfchaulicht.

Für diefe Glasdecke find der Länge und der Quere nach je zwei Fachwerkträger angeordnet, welche auf den Umfaffungswänden gelagert und überdies durch Hängeftangen mit dem darüber befindlichen Dachftuhl verbunden find. Die Conftruction des die Glasdecke umrahmenden undurchfichtigen Theiles (aus gewölbten Hohlkehlen etc. gebildet) ift an jene Fachwerkträger angehängt.

Auch die in Fig. 659 [240]) dargeftellte Ausführung, bei der die in Rede ftehenden Träger nach Art der Dachbinder ausgebildet find, gehört hierher.

Hier ift die fchwere gewölbte Hohlkehle gleichfalls mit den Eifenträgern verbunden; es hat aber auch eine Verankerung mit den Umfaffungsmauern ftattgefunden.

γ) In wenigen Fällen find die Glasdecken von unten aus durch eiferne Bogenträger unterftützt worden. Eine bemerkenswerthe Conftruction diefer Art zeigen Fig. 660 u. 661 [241]); die tragenden Theile der Glasdecke ruhen mit den Füfsen auf Confolen, im Uebrigen auf Bogenträgern.

δ) Weniger einfach wird die Anordnung der Träger, fobald die Glasdecke, bezw. das Deckenlicht nicht, wie feither ftets vorausgefetzt wurde, rechteckig geftaltet ift, fondern eine andere Grundform befitzt. Je nachdem die letztere gebildet ift und je nach den anderen mafsgebenden Verhältniffen wird die Ausführung allerdings eine ziemlich verfchiedene fein.

So z. B. wird man bei einem kreisrunden Deckenlicht über einem quadratifchen Raume die eifernen Träger nach Fig. 662 anordnen können.

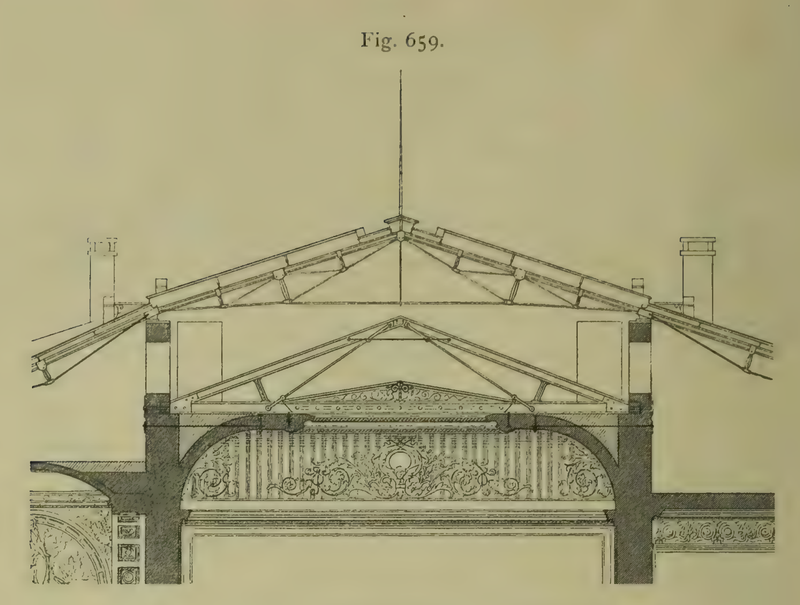
Der innere Ring diefer Eifen-Conftruction trägt nicht allein das Sproffenwerk des Deckenlichtes, fondern auch die zeltdachförmig abgefchloffene Dachlaterne.

Ift hingegen der zu überdeckende Raum felbft rund geftaltet, fo ordnet man die Hauptträger am beften radial an, wie dies z. B. bei der durch Fig. 663 [242]) veranfchaulichten Glasdecke über einem halbrunden Treppenhaus von 4,7 m innerem Halbmeffer gefchehen ift.

---

[238]) Facf.-Repr. nach: Allg. Bauz. 1871, Bl. 58.
[239]) Nach: Allg. Bauz. 1879, Bl. 69.
[240]) Facf.-Repr. nach: Zeitfchr. f. Bauw. 1879, Bl. 2.
[241]) Nach: *L'architecture*, Jahrg. 5, S. 42 u. 43.
[242]) Nach: Zeitfchr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1878, S. 315 u. Bl. 749.

Fig. 659.



Von der Gemälde-Galerie zu Caffel [240]).

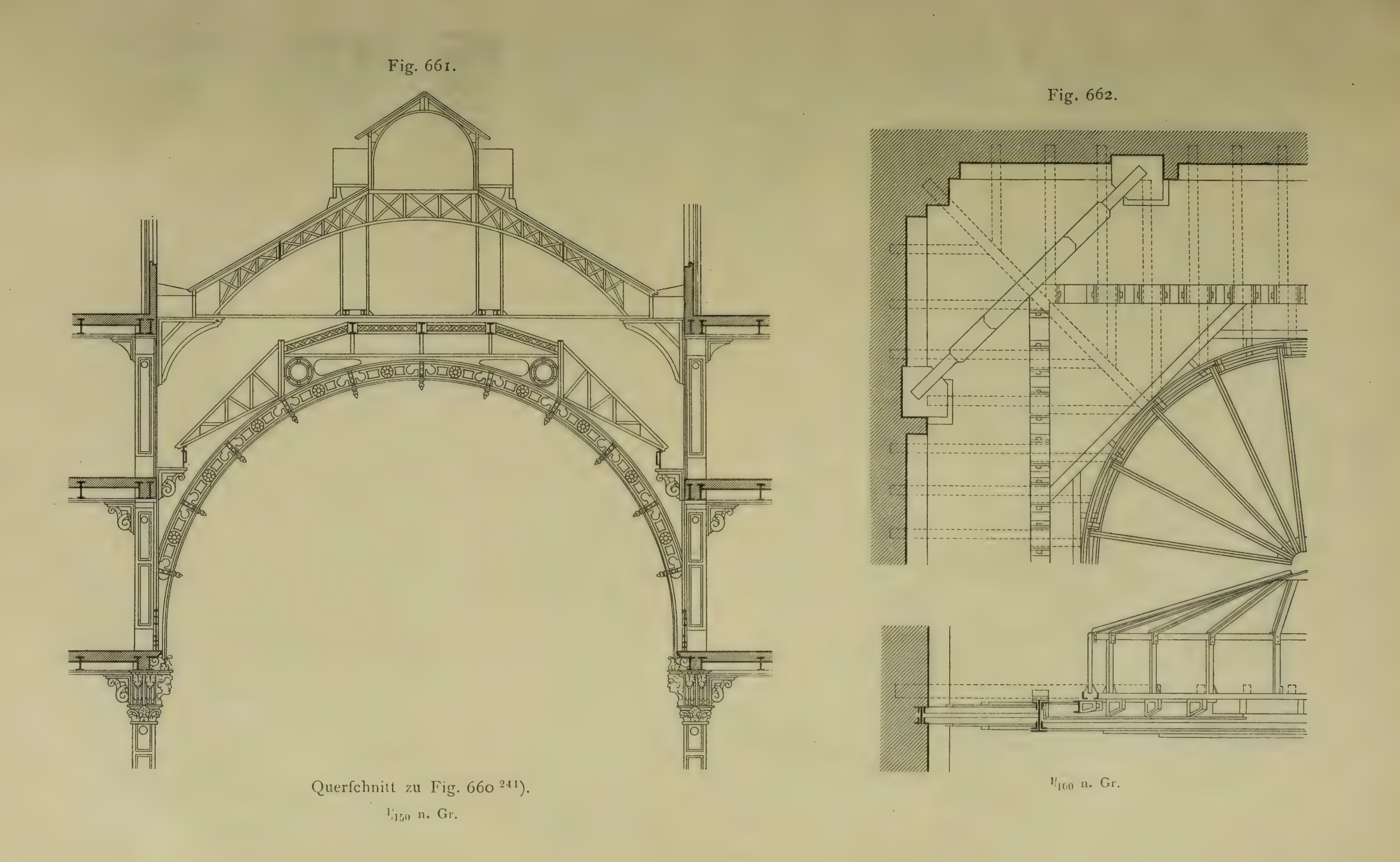
$^{1}/_{150}$ n. Gr.

Fig. 660.

Von der grofsen Halle der *Magafins du Printemps* zu Paris [241]).

Fig. 661.

Fig. 662.

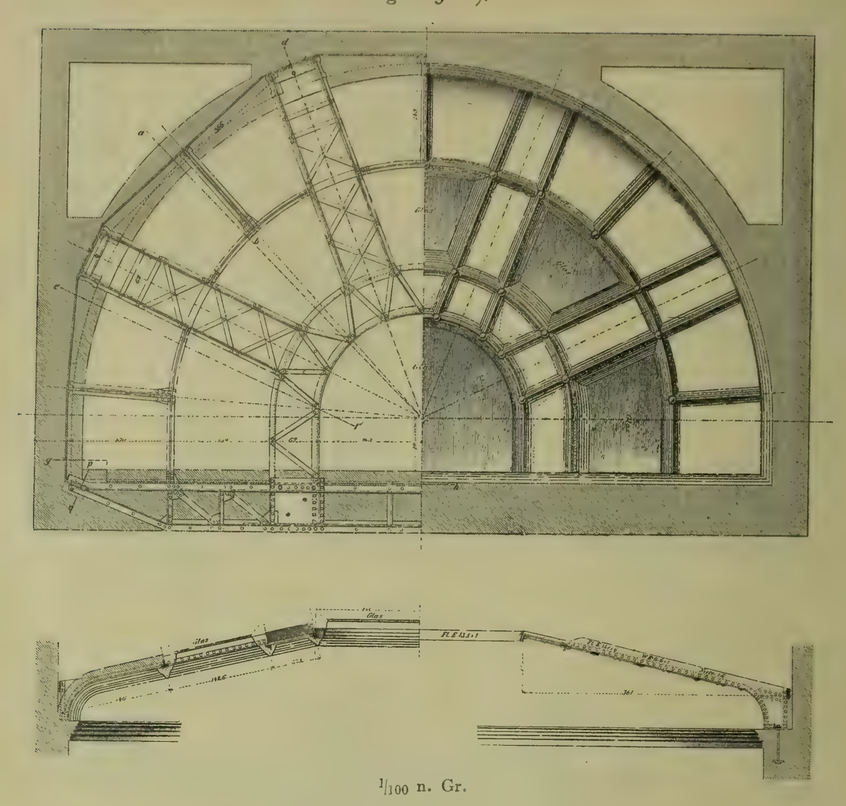


Querfchnitt zu Fig. 660 [241]).

$^1/_{150}$ n. Gr.

$^1/_{100}$ n. Gr.

Fig. 663 [242]).



$^1/_{100}$ n. Gr.

Die Eifen-Conftruction bildet hier die Hälfte einer Kuppel, in der die auf Druck beanfpruchten Conftructionstheile als Gitterträger ausgebildet find. Als eigentliches Tragfyftem find dabei der gitterförmige Druckring, die 4 radial angeordneten Gitterfparren, der Zugring, welcher die Auflager der letzteren verbindet, und der wagrechte Fachwerkträger, welcher die fehlende Kuppelhälfte erfetzt, zu betrachten [242]).

Literatur

über »Verglaste Decken und Deckenlichter«.

SCHWATLO. Ueber die Anlage von Oberlichtern in eleganten Räumen. Zeitfchr. f. Bauw. 1867, S. 442.

BECKER. Ueber Glaslinfen. Zeitfchr. f. Bauw. 1868, S. 309.

Conftruction von Oberlichten. Haarmann's Zeitfchr. f. Bauhdw. 1877, S. 172.

Die Strafsen-Einfall-Lichter. Haarmann's Zeitfchr. f. Bauhdw. 1881, S. 188.

Patentirte Einfall-Lichter mit halbprismatifchen Linfen in Treppenform. Baugwks.-Ztg. 1881, S. 423.

Hayward's pavement lights. Architect, Bd. 27, S. 139.

Oberlicht-Conftruction. Centralbl. d. Bauverw. 1883, S. 244.

Oberlichter von Linfen- und Prismenglas. Centralbl. d. Bauverw. 1885, S. 256.

LAUGEREY. *Vitres-dalles et planchers translucides. La femaine des conftr.*, Jahrg. 9, S. 582.

BARRÉ, L.-A. *Planchers en fer et en dalles de verre. La femaine des conftr.*, Jahrg. 10, S. 90.

FRANGENHEIM. Einfache Verglafung der Dächer und Oberlichte. Deutfche Bauz. 1887, S. 417.

BOILEAU, L.-C. *Les plafonds vitrés. L'architecture*, Jahrg. 3, S. 159; Jahrg. 4, S. 53, 519, 533; Jahrg. 5, S. 41.

Fortfchritte auf dem Gebiete der Architektur. Nr. 2: Verglaste Decken und Deckenlichter. Von A. SCHACHT & E. SCHMITT. Darmftadt 1894.

20. Kapitel.

Decken aus Wellblech- und aus *Lindfay*-Trögen.

Von Georg Barkhausen.

433. Gerade Wellblechdecken.

Von der Verwendung des Wellbleches zu Decken-Conftructionen war bereits in Art. 95 (S. 104) die Rede, und bezüglich feiner Abmeffungen und der Widerftandsmomente wurden in Art. 96 (S. 105 u. 106) die erforderlichen Angaben gemacht. An der erftgedachten Stelle ift bereits erwähnt worden, dafs man mit Wellblechen auch Deckenanordnungen ohne tragende Walzbalken zur Ausführung bringen kann, und auch hier kann dies durch gerade oder durch bombirte Wellbleche gefchehen.

Eine gerade Wellblechdecke aus Trägerwellblech von grofser Weite, daher mit eifernem Unterzuge, unten geputzt, ift in Fig. 664 dargeftellt, welche zeigt, wie gering die durch folche Decken eingenommene Höhe ift. Das Blech ift behufs ganz gleichmäfsiger Auflagerung am Ende in ein Winkeleifen, etwa mit jeder dritten Welle, eingeftiftet, welches auf, bezw. in der Wand ruht.

An den Wänden, welche mit den Wellen parallel laufen, ift die letzte abgebogene Welle in eine Fuge der Wand gefteckt, um Dichtung zu erzielen. Auf dem Unterzuge find die unbefeftigten Tafeln etwa 8 cm über einander gelegt und in den Bergen durch kleine Stifte verbunden. Zur Aufnahme des hölzernen Fufsbodens find Lagerleiften in Abftänden von etwa 75 cm in die Wellen eingepafft [243]; der Zwifchenraum zwifchen Fufsboden und Blech ift mit Füllmaterial fo gefchloffen, dafs die Bretter thunlichft ganz voll aufruhen. Behufs Anbringens der Deckenfchalung für den Putz find auch von unten

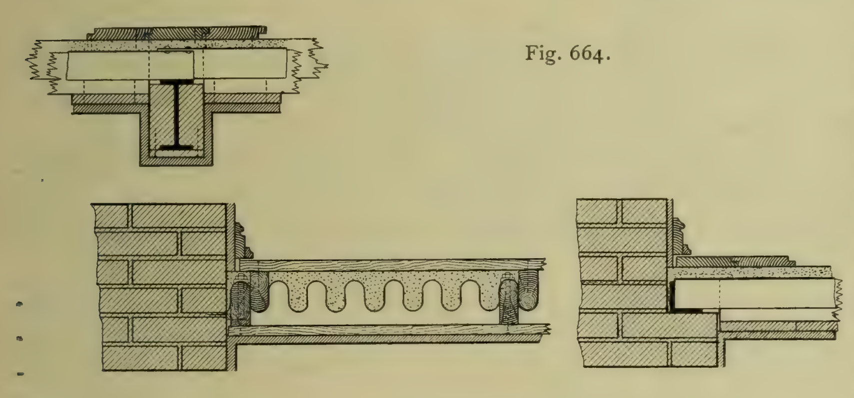


Fig. 664.

Leiften eingepafft und mit fchwachen Bolzen an den Wellenbergen befeftigt; auch der Unterzug ift rings in Holzleiften gehüllt, um ihn putzen zu können. Oben ift die Fuge zwifchen Fufsboden und Wandputz durch eine auf Dübel in der Wand gefchraubte Stofsleifte wie gewöhnlich gedeckt. Die Füllung erhält auch hier zweckmäfsig durch Beimengen eines fchwachen Mörtelzufatzes fo viel Zufammenhalt, dafs ein Schub gegen die Wellenwände vermieden wird. Der Hohlraum zwifchen Deckenfchalung und Blech trägt zugleich zur Dichtigkeit und Feuerbeftändigkeit der Decke bei, kann jedoch nöthigenfalls unbedenklich noch mehr eingefchränkt werden, als dies in Fig. 664 dargeftellt ift.

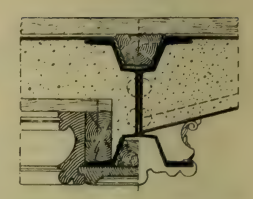
Bezüglich der Berechnung der geraden Wellblechdecken fei auf Art. 95 (S. 104) verwiefen.

434. Gekrümmte Wellblechdecken.

Fig. 665 rechts u. 666 zeigen Decken aus Wellblechbogen, welche wegen der hier vorwiegenden Beanfpruchung des Bleches auf Druck in der Regel die Verwendung leichterer Bleche geftatten. Befonders zweckmäfsig ift diefe Anordnung zur Ueberdeckung langer fchmaler Räume (Flurgänge u. dergl.). Man legt hier — bei zur Aufnahme des Schubes ungenügender Wandftärke mit einander verankerte — fchwache L- oder C-Eifen in die Wand, welche den Druck des Bogens unmittelbar an die Mauern abgeben und bei Verankerungen die Schübe zwifchen

[243]) Siehe: Gerade Wellblechdecke mit Holzbelag in Afphalt. Deutfche Bauz. 1883, S. 397.

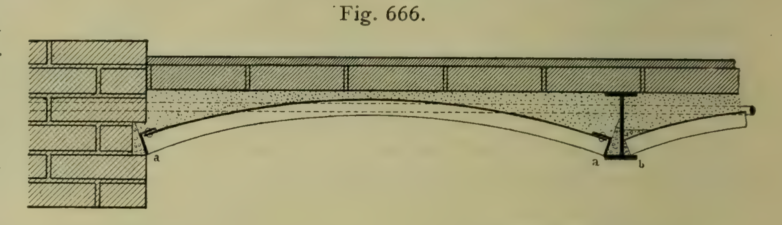




den Ankern aufzunehmen haben; man wähle daher im letzteren Falle Eifen mit grofser Seitenfteifigkeit, etwa flach gelegte ⊔-Eifen oder ungleichfchenkelige ⌙-Eifen.

Von befonderer Wichtigkeit ift die Kämpferanordnung der Blechbogen. Der Einfachheit wegen hat man das Blechende ftumpf gegen die Fläche von erhärtetem fettem Cement-Beton (*b* in Fig. 666) oder auch ohne weitere Vorfichtsmafsregeln unmittelbar gegen das Eifen der Träger (Fig. 665 rechts) gefetzt. Der fcharfe Blechrand frifft fich dann aber leicht ein, und es ift daher beffer, die Kämpferfläche erft mit fchwachem Blech zu belegen oder, wie bei *a* in Fig. 666, ein Kämpfer-L-Eifen am Blech zu befeftigen. Die Verankerung, welche hier wegen des meift geringen Gegenfchubes der unbelafteten Oeffnung gewöhnlich in allen Fachen anzubringen und in je zwei Nachbarfachen behufs Anbringens der Muttern an jedem Träger um ein Geringes wagrecht zu verfetzen ift (Fig. 666), liegt hier, wie bei Wölbungen, am gefchützteften über dem Bogenfcheitel, kann jedoch auch unter das Blech gelegt werden, wenn diefes hinreichend hoch in den Trägern ruht. In den Wänden erhalten die Anker die gewöhnlichen Splinte oder Druckplatten.

Fig. 666.



Eine einfachere und wirkfame Verankerung ift auch hier durch über, bezw. unter die Träger gelegte Flacheifen mit Klammern nach Fig. 207 u. 208 (S. 115) oder auch, bei ebener Deckenausbildung, durch nach Fig. 183 (S. 100) angebrachte *Monier*-Platten zu erzielen.

Um die Verankerung überhaupt zu vermeiden und fo die Herftellung wefentlich zu vereinfachen, verwende man Träger mit thunlichft grofser feitlicher Steifigkeit, z. B. den *Klette*'fchen (Fig. 665 rechts) oder einen aus *Lindfay*-Eifen [244]) zufammengefetzten.

Die Ueberfüllung befteht meift aus Sand; doch ift auch hier die Herftellung aus ganz magerem Mörtel empfehlenswerth, weil die dadurch erzielte Feftigkeit der Ueberfüllung in der unbelafteten Oeffnung dem Schube der belafteten erhöhten Widerftand leiftet, folglich die Verankerung zu verfchwächen, bezw. fehlen zu laffen geftattet.

Der Fufsboden ift in Fig. 666 als aus Ziegelflachfchicht mit Afphaltbelag beftehend dargeftellt; doch ift jede andere Art — Bretter auf Lagerhölzern — gleichfalls möglich. In Fig. 665 rechts ift der mit Dachpappe unterdeckte Holzfufsboden auf die in den *Klette*-Träger gelegten Lagerleiften genagelt.

Die Berechnung der gekrümmten Wellblechdecken hat auf Grund der in Art. 96 (S. 104) gemachten Angaben zu gefchehen [245]).

435. Decken aus *Lindfay*-Trögen.

Die Decke aus *Lindfay*-Trögen (Fig. 667 [246]) ift der geraden Wellblechdecke in jeder Beziehung nahe verwandt. Die einzelnen Tröge werden als Platten mit verftärktem Mitteltheile gewalzt, dann rund oder kantig in die Trogform gebogen und nach Fig. 667 vernietet. Bei runden Trögen entfteht fo eine Wellendecke mit Ver-

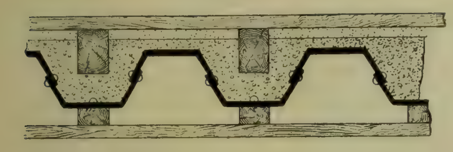
---

244) Siehe: *Engineer,* Bd. 64 (1887), S. 289. *Engng.*, Bd. 44 (1887), S. 209.

245) Ueber Wellblech-Decken fiehe auch: Eifenb., Bd. 14, S. 46.

246) Siehe: *Engineer,* Bd. 64 (1887), S. 289. *Engng.*, Bd. 44 (1887), S. 209. Centralbl. d. Bauverw. 1887, S. 389.

Fig. 667.



ftärkungen in den Wellenfcheiteln. Der wefentlichfte Unterfchied gegenüber der Wellblechdecke ift die beträchtlich gröfsere Tragfähigkeit, welche felbft unter fchweren Laften bei Verwendung der ftärkften Querfchnitte diefer Art die Anordnung von Spannweiten bis zu 12 m ohne zwifchengelegte Unterzüge geftattet.

Die Troghöhlungen werden mit Schlacken-Beton ausgeftampft, in welchen man die Lager für hölzerne Fufsböden einftampft. Den Uebelftand, dafs man für die Befeftigung des Deckenputzes irgend welcher Art die Trogböden anbohren mufs, hat diefe Decke mit der Wellblechdecke gemein.

Fig. 668.



Eine gute Eigenfchaft der Wellblech- und der Trogdecke ift die gleichförmige Vertheilung der Laft auf die ganze Länge der ftützenden Mauern, welche die Schwierigkeiten der Auflageranordnung der nur an einzelnen Punkten Laften abgebenden Balken und Träger befeitigt.

Die Abmeffungen der *Lindfay*-Tröge ergeben fich mit Bezug auf Fig. 668 aus nachftehender Tabelle:

Nr.	*h*	*a*	*b*	*G* für 1 qm Grund-fläche	*W* für zwei vernietete Quer-fchnitte	Nr.	*h*	*a*	*b*	*G* für 1 qm Grund-fläche	*W* für zwei vernietete Quer-fchnitte
D 1	305	229	584	234	1640	*B* 8	152	127	406	122	265
D 2	305	229	584	171	1535	*B* 9	152	127	406	107	235
D 3	305	229	584	136	1175	*B* 10	152	127	406	97	200
C 4	178	152	508	166	563	*A* 11	127	115	356	94	152
C 5	178	152	508	133	480	*A* 12	127	115	356	78	126
C 6	178	152	508	112	365	*O* 13	102	102	203	75,5	101
C 7	178	152	508	102	323	*O* 14	102	102	203	63	89
						O 15	102	102	203	53,5	70
	Millim.			Kilogr.	bezogen auf Centim.		Millim.			Kilogr.	bezogen auf Centim.

Aufser den eckigen Trögen in Fig. 667 u. 668 werden auch Halbwellen hergeftellt [247]), welche, eben fo wie die Tröge vernietet, einen Wellenquerfchnitt auf verftärkten Scheiteln, ähnlich den Trägerwellblechen, liefern.

---

21. Kapitel.

Verfchiedene Decken-Conftructionen.

Von Georg Barkhausen.

436. Ueberficht.

An diefer Stelle follen folche Deckenanordnungen über grofsen Räumen befprochen werden, welche, obwohl keine für eigentliche Widerlagerwirkung hinreichend ftarke Wände vorhanden find, doch ohne Einfügen von den Raum durchfchneidenden Zugankern die Herftellung der Formen gröfserer gewölbter Decken geftatten. Möglich

247) Vergl.: *Engineering*, Bd. 44 (1887), S. 209.

ift die fcheinbare Herftellung jeder Gewölbeform dadurch, dafs man zur Aufnahme der dem reinen Mauerwerke nicht zuzumuthenden Biegungsfpannungen befondere Conftructionstheile aus Eifen einfügt, nach unten aber mehr oder weniger eine reine Steinfläche zeigt. Die Eifenrippen werden dann durch Bemalen oder untergehängte Zinkgefimfe als Grate behandelt und gekennzeichnet oder durch Einputzen zum Verfchwinden gebracht.

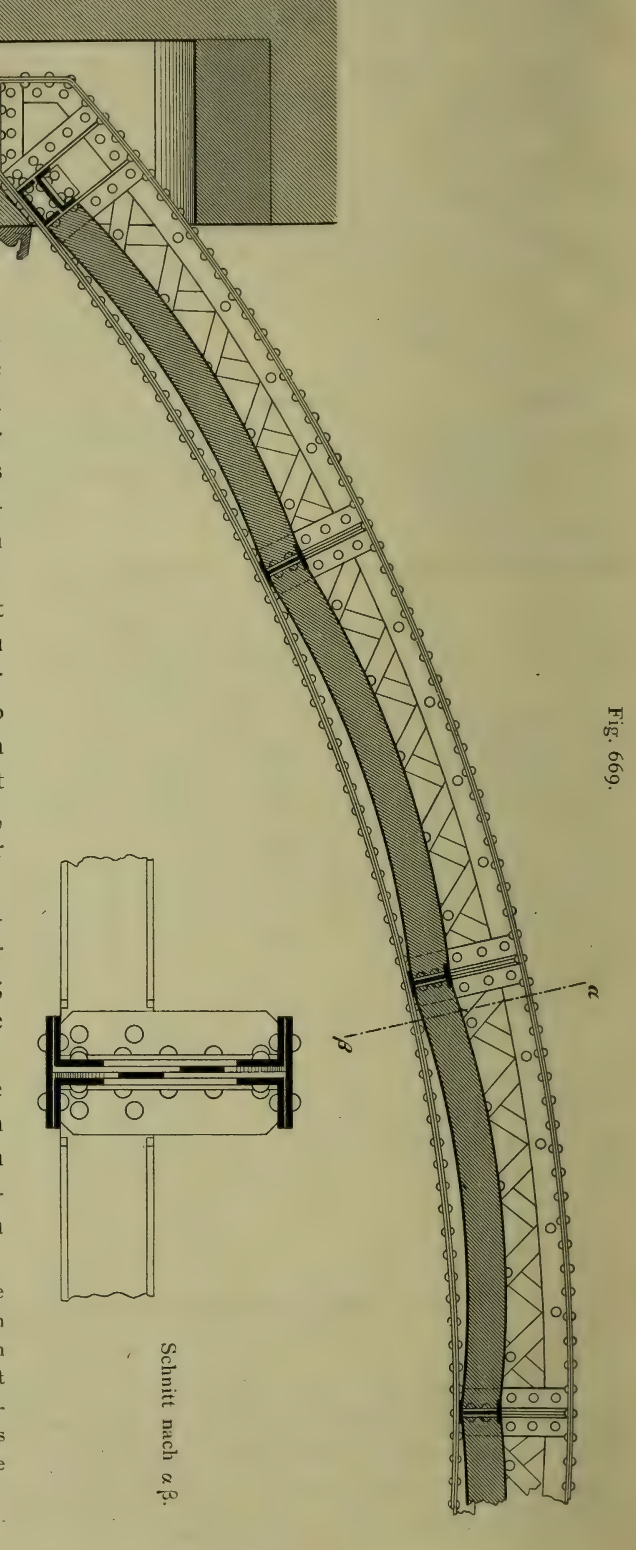


Fig. 669.

Auf derartige Decken kommt in der Regel kein Fufsboden zu liegen. Soll indefs ein folcher über ihnen angeordnet werden, fo können die Eifenrippen zugleich deffen Träger fein, oder er erhält eine eigene Trag-Conftruction, welche unabhängig von der Decke ift.

Die Befprechung aller vorkommenden Formen derartiger Decken würde zu weit führen; es follen hier nur einige Beifpiele behandelt werden.

437.
Grofse
Tonnendecke.

Fig. 669 ftellt eine grofse Tonnendecke [248]) dar, welche von nach der Bogenlinie gekrümmten Gitterträgern und dazwifchen eingefetzten **I**-Längsträgern getragen wird.

Die Hauptträger find, um alle Schübe gegen die Wände zu befeitigen, an einem Ende beweglich auf Rollen, am andern feft gelagert. Am beweglichen Lager ift die Decke mit der Wand in keinerlei Verbindung, damit die Bewegungen des Eifens nicht die gegenfeitige Zerftörung der Theile

[248]) Vergl.: *Hôtel des poftes*, Paris. *Encyclopédie d'arch.* 1887, S. 83.

veranlaffen. Die unvermeidliche offene Fuge zwifchen Wand und Decke kann durch ein Kämpfergefims verborgen werden. Die grofsen Querträger können zur Aufnahme der Laften eines darüber liegenden Raumes oder auch des Dachftuhles benutzt werden.

Die eigentliche Deckenfläche befteht aus den inneren Laibungen von kleinen Tonnen, welche mit möglichft geringem Pfeile aus thunlichft leichtem Bauftoffe (Lochfteinen, poröfen Steinen, Tufffteinen, Afchenfteinen, Schlackenbeton oder dergl.) eingewölbt find. In der Regel werden die fchwachen Krümmungen der einzelnen kleinen Tonnen gegen diejenigen der grofsen Tonne in der Innenanficht verfchwinden; will man jedoch eine völlig reine Kreiscylinderfläche als innere Laibung haben, fo kann man den Pfeil der kleinen Tonnen gegen die Bogenlinie der grofsen, welcher nur wenige Centimeter beträgt, ganz mit Putz füllen, in welchem dann die untere Gurtung der Längsträger ganz verfchwindet, oder auch die kleinen Kappen mit dem Halbmeffer der grofsen Bogen herftellen, fo dafs eine reine Tonnenfläche entfteht. Die Stärke der Kappen wird in derartigen Fällen nie über $^1/_2$ Stein zu fteigen brauchen.

Die Schübe der Kappen heben fich, da alle unbelaftet find, nahezu völlig auf; doch ift bei der Ermittelung der Einwirkung der Kappen auf die Träger auf die geneigte Lage der erfteren Rückficht zu nehmen, da diefe eine um fo ftärkere feitliche Beanfpruchung der Träger zur Folge hat, je näher letztere der Wand liegen. Die Träger felbft find unter der excentrifchen Belaftunng nach dem im Theil III, Band 1, Heft 1 (Art. 305, S. 206 [249]) diefes »Handbuches« und im vorliegenden Hefte (Art. 98, S. 109 oder Art. 101, S. 114) erläuterten Verfahren zu berechnen.

Ganz befondere Aufmerkfamkeit verlangt der letzte Träger am Kämpfer der grofsen Tonne, da man die letzte Kappe hier aus den oben angegebenen Gründen noch weniger in die Wand fetzen darf, als bei den Balkendecken mit eingewölbten Feldern. Diefer letzte Träger ift dem vollen, einfeitigen, fchräg gerichteten Drucke der letzten Kappe ausgefetzt, mufs alfo befonders kräftig fein, und wurde daher im vorliegenden Falle aus zwei mit der gegen Biegung widerftandsfähigften Abmeffung annähernd in die Richtung des Kappendruckes geftellten ⊔-Eifen gebildet. Am feften Lager des grofsen Querträgers erfcheint das unmittelbare Einfetzen der letzten Kappe in die Mauer eher zuläffig.

Die Anfchlüffe der Längsträger an die Hauptträger müffen der auf erftere übertragenen Kappenlaft entfprechen und werden nach der Theilzeichnung in Fig. 669 ausgeführt, indem man den Längsträgern an den Enden die Flanfche nimmt. Ift die Anordnung bei grofser Länge des ganzen Raumes Wärmewechfeln ausgefetzt, fo ift es unzuläffig, alle Längsträger feft mit den Hauptträgern zu vernieten, da diefe durch die Bewegungen der erfteren fchief geftellt werden würden. Es müffen vielmehr die Anfchlüffe der Längsträger zu beiden Seiten jedes zweiten Hauptträgers mittels Schraubenbolzen in länglichen Löchern erfolgen, damit hier die Längenverfchiebungen ausgeglichen werden können. An jedem Hauptträger einen Anfchlufs feft, den anderen beweglich anzuordnen, ift weniger empfehlenswerth. Die äufseren Enden der letzten Längsträger können in die Giebelwände gelagert werden.

Für die Hauptträger derartiger Anordnungen eignet fich, wegen vergleichsweife leichter Herftellung der gekrümmten Form, der Gitterträger befonders; das Krümmen von ftarken Walzträgern macht gröfsere Schwierigkeiten. An den Enden bildet man die Wand aus einfachen oder hier doppelten vollen Blechen, um grofse Steifigkeit und Platz für den gewöhnlich unregelmäfsigen Anfchlufs des letzten Kappenträgers zu erzielen. Beide Trägerenden werden gleich geformt; das eine ift dann auf einem feften Lager, welches nach Theil III, Band 1, Heft 1 (Art. 319, unter γ u. Fig. 601 u. 602, S. 223 u. ff. [250]) zu geftalten ift, zu verdollen, das andere auf Rollen auf einer Grundplatte zu lagern; die Rollen verhindern durch vorfpringende Ränder Seitenverfchiebungen und werden durch auf kleine Stifte in den Rollenköpfen gefteckte Flacheifen in feftem Abftande von einander gehalten. Der Durchmeffer der ftählernen abgedrehten Rollen beträgt 6 bis 10 cm; die Anzahl derfelben wird in den hier in Frage kommenden Fällen nicht über 3 betragen.

Bei der Berechnung des Hauptträgers ift zu berückfichtigen, dafs in den Längsträgerknoten neben den lothrechten Laften auch wagrechte Kräfte angreifen, welche — in fymmetrifchen Knoten gleich grofs aber entgegengefetzt gerichtet — zwar den Auflagerdrücken den gewöhnlichen Werth (gleich der halben Laft) laffen, auf das den Träger biegende Moment, namentlich im gefährdetften Mittelquerfchnitte, aber vergröfsernd einwirken. In der Regel werden die Hauptträger nach der Mitte hin alfo einer erheblichen Verftärkung durch Vermehrung der Kopf- und Fufsplatten bedürfen.

438. Zeltkuppel mit Deckenlicht.

Ein zweites Beifpiel einer derartigen fcheinbaren Wölb-Conftruction ift die in Fig. 670 dargeftellte Zeltkuppel oder das mehrfeitige Kloftergewölbe mit Decken-

249) 2. Aufl.: Art. 312, S. 234.

250) 2. Aufl.: Art. 329, unter γ u. Fig. 618 u. 620, S. 256 u. ff.

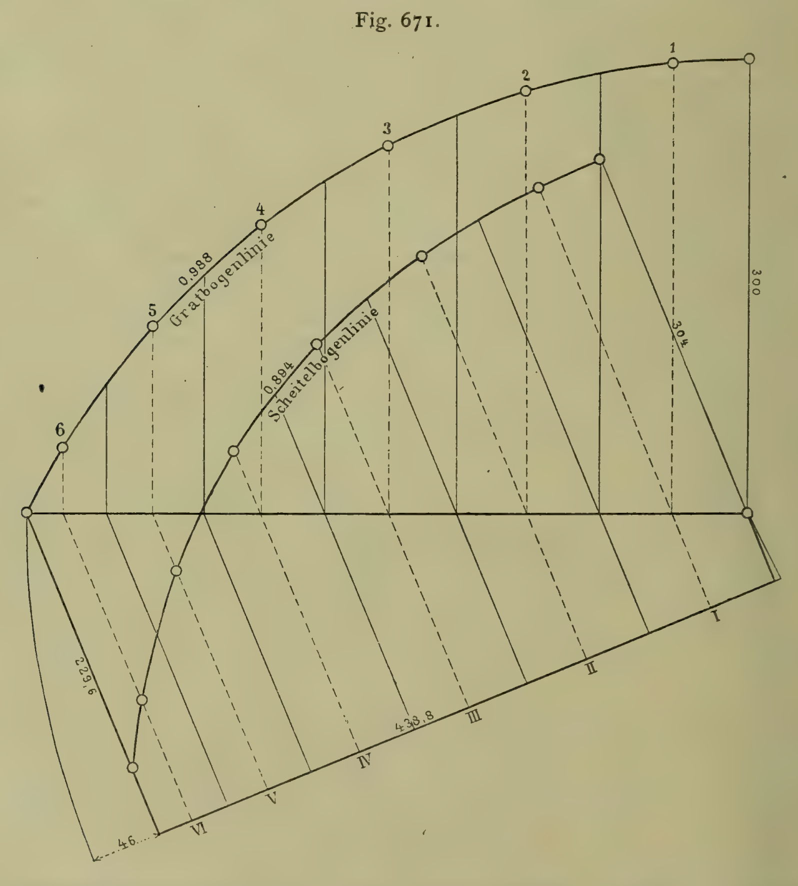
licht. Der zu überdeckende Raum iſt regelmäſsig achteckig angenommen, die Abmeſſungen, auch des Deckenlichtes, ſind in Fig. 670 eingetragen, wozu noch zu bemerken iſt, daſs der Pfeil der Kuppel bis zum Deckenlichte 3,0 m betragen ſoll.

Fig. 670.

Das Gerippe beſteht aus 8 nach dem Mittelpunkte gerichteten Rippen von I-Eiſen, welche an den oberen und unteren Enden je durch einen Ring verbunden ſind. Die ſo entſtandenen, im Grundriſs trapezförmigen Felder ſollen durch flache Kappen aus leichtem Bauſtoffe (1400 kg für 1 cbm) ſo geſchloſſen werden, daſs der Kappenpfeil am Kuppelkämpfer $^1/_{10}$ (= 46 cm) beträgt; an den übrigen Stellen ſoll die Kappenkrümmung in den zur Feldmittellinie winkelrechten lothrechten Ebenen überall denſelben Krümmungshalbmeſſer haben.

Die vollſtändige Berechnung dieſes Beiſpieles möge hier folgen. In Fig. 671 iſt die Bogenlinie der Gratrippe über der Gratſeite des Feldes (Kreisbogen) und über der Mittellinie des Feldes die Bogenlinie des Kappenſcheitels aufgetragen, deren Ordinaten ſich aus denjenigen der Gratbogenlinie und den zugehörigen Stichen der Kappe (nach Fig. 672 in doppeltem Maſsſtabe gegen Fig. 671) zuſammenſetzen.

Fig. 671.



Bei der Berechnung der Kappen iſt von dem Drucke abgeſehen, welcher von den dem Kuppelſcheitel näher liegenden flacheren Theilen auf die ſteileren am Kämpfer der Kuppel im Mauerwerke übertragen werden; es iſt vielmehr angenommen, daſs die Kappen aus lauter durch lothrechte Ebenen begrenzten Theilen beſtehen, welche ihre Laſten und Schübe lediglich auf die Gratrippen übertragen, eine Annahme, wie ſie bei Berechnung der Kreuzgewölbe ſtets gemacht wird.

Es ift nun fowohl die Grat-, wie die Scheitelbogenlinie in 6 gleiche Theile getheilt, wodurch aus der Kappe 6 Ringe *1* bis *6* herausgefchnitten werden; es ift ferner die Kappenftirn im Kuppelkämpfer mit $^1/_{10}$ Pfeil in Fig. 672 aufgetragen, mit Angabe derjenigen Theillinien *I* bis *VI*, welche aus der gröfsten Kappenlänge am Kämpfer die kleineren der dem Scheitel näher liegenden Streifen heraustrennen. Die Gewichte find dann zuerft als *a* für den kleinften Streifen am Deckenlichte, dann fortfchreitend mit *b*, *c*, *d*, *e*, *f* für die Unterfchiede der auf einander folgenden Streifen ermittelt. Dabei ift für jeden Streifen unveränderlich diejenige (in Fig. 672 geftrichelte) Spannweite angefetzt, welche er in feiner Mitte wirklich befitzt.

Die Laften *a* bis *f* find in Fig. 673 durch die Hälften der fo entftandenen Kappentheile, im Bogen gemeffen, dargeftellt, und der diefer Auftragung entfprechende Kräftemafsftab ergiebt fich bei dem Längen-

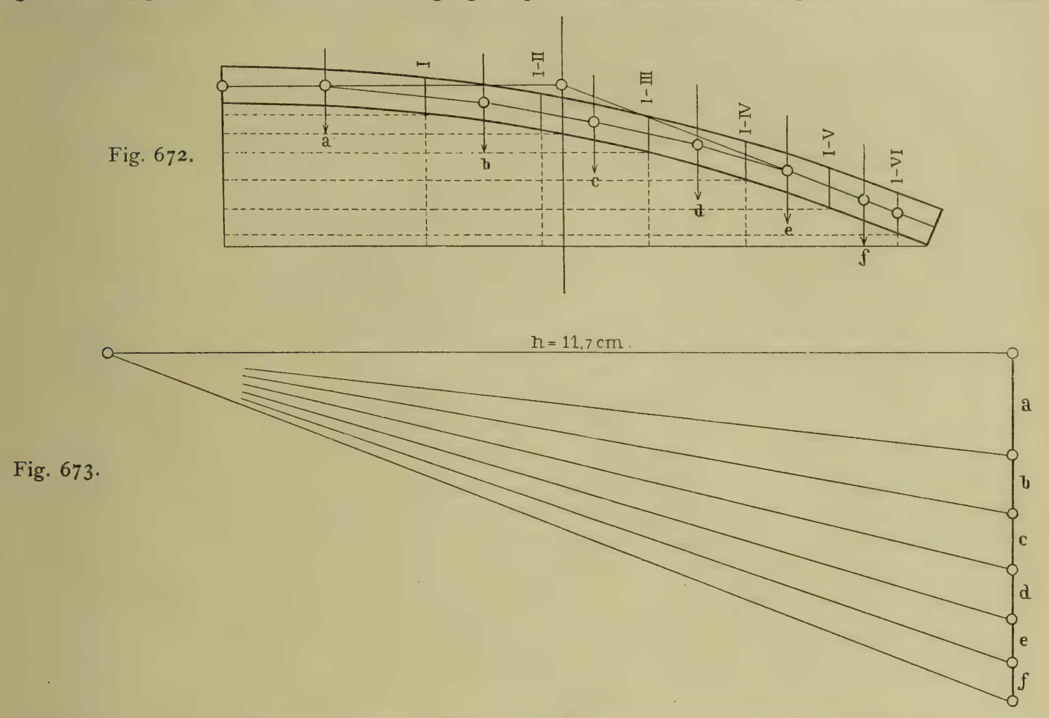


Fig. 672.

Fig. 673.

mafsftabe 1 : 25 von Fig. 672 wie folgt. Ein Streifen hat, in der Scheitelbogenlinie gemeffen, bei 12 cm Stärke 0,894 m Breite; 1 lauf. Meter des Streifens, im Kappenbogen gemeffen, wiegt fomit $0{,}12 \cdot 0{,}894 \cdot 1 \cdot 1400 = 150$ kg und ift in Fig. 673 durch $\frac{100}{25 \cdot 2} = 2$ cm dargeftellt; fomit ift der Mafsftab von Fig. 673: 1 cm = 75 kg. In Fig. 672 ift nun durch Einzeichnen der Mittel-Drucklinie der für alle Streifen gleiche Horizontalfchub $h = 11{,}7 \cdot 75 = 878$ kg ermittelt, welcher als Preffung im Kappenfcheitel $\frac{878}{12 \cdot 89{,}4} = 0{,}82$ kg liefert. Die Laft, welche der Streifen *I* auf die Kuppelrippe überträgt, ift *a*, die des Streifens *II* gleich $a + b$ u. f. w., fchliefslich die des Streifens *VI* gleich $a + b + c + d + e + f$. Da aber am Grate zwei Kappen zufammenftofsen, fo ift die ganze Laft z. B. in Knoten *6* des Grates gleich $2(a + b + c + d + e + f)$. Aufser diefer Laft wirkt auf jeden Gratknoten von jeder Seite, mit der entfprechenden Kuppelfeite gleich gerichtet, der Schub *h*, woraus fich ein in Fig. 670 in 1 cm = 800 kg ermittelter, in der Richtung des Halbmeffers nach aufsen wirkender Schub h_r für jeden Gratknoten ergiebt. Die Angriffspunkte diefer Kräfte ergeben fich aus der Lage der in Fig. 672 eingetragenen Drucklinie, und zwar liegen fie in der Mitte der Kappendicke.

Diefe Laften und Schübe find nun in Fig. 675 in 1 cm = 750 kg zufammengetragen, indem die Länge h_r aus Fig. 670 nach dem Verhältnifs von 800 : 750 vergröfsert benutzt wurde (gleich $^1/_{10}$ der dem Mafsftabe von Fig. 673 entfprechenden Länge), und die Auftragung der Laftenfummen, mit Rückficht auf die nothwendige Verdoppelung, durch Abgreifen von $^1/_5$ der in Fig. 673 zufammengefetzten Gewichte *a* bis *f* erfolgte. In Fig. 674 wurde die zunächft 14 cm hoch angenommene Gratrippe aufgetragen unter Uebernahme der 6 Kraftangriffspunkte aus Fig. 671 u. 672; auch wurden die Richtungen der 6 angreifenden Gefammtkräfte *1* bis *6* durch diefe Punkte gehend eingezeichnet. Zu diefen Kräften tritt dann noch die

im Scheitel des Grates angreifende Laft der Deckenlicht-Conftruction, welche fchätzungsweife mit 50 kg für jeden Knoten feft geftellt und mit *o* bezeichnet wurde. Weiter ift nun mit Hilfe des Kräftezuges *o* bis *6* und des beliebigen Poles O, ein (punktirtes) Seilpolygon zur Beftimmung der Mittelkraft R (- - - - - - -) aus den Kräften *o* bis *6* in Fig. 674 eingezeichnet und dann in bekannter Weife eine wagrechte Kraft H im Scheitel (hier Zug, nicht Druck) fo beftimmt, dafs die Mittelkraft R, aus H und R durch den Kämpfer-

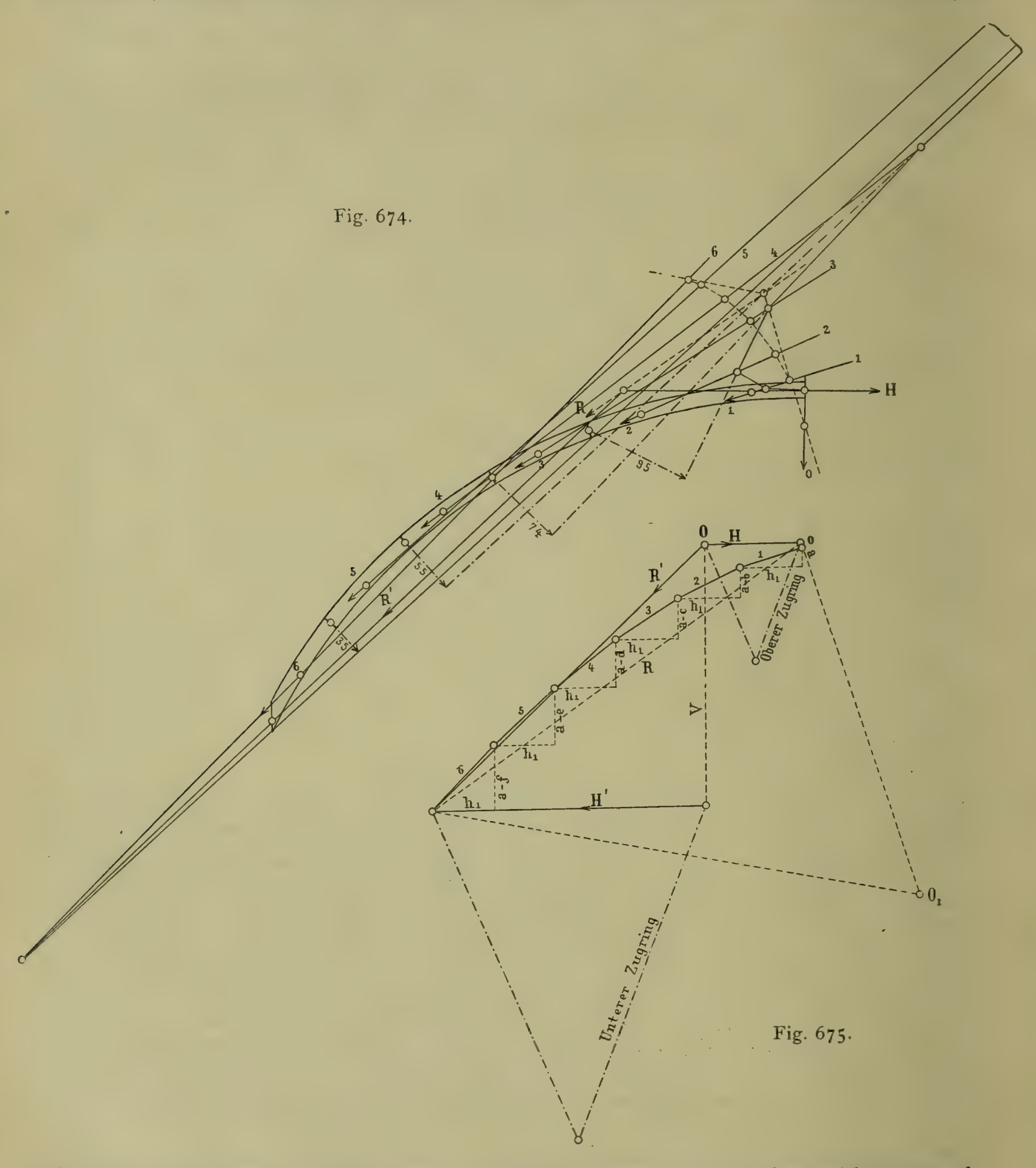


Fig. 674.

Fig. 675.

punkt der Gratrippe geht. Es bleibt dann im Kämpfer der Rippe die nach aufsen gerichtete wagrechte Kraft H' neben dem lothrechten Auflagerdrucke V übrig, welcher gleich der Summe der lothrechten Seitenkräfte der Kräfte *o* bis *6* ift.

Der wagrechte Zug H, fo wie der Schub H, müffen durch die die Gratrippen an den Enden verbindenden Zugringe aufgehoben werden, welche alfo die in Fig. 675 mit — - — - — Linien angedeuteten Spannungen: unten $5{,}2 \cdot 750 = 3900$ kg, oben $1{,}84 \cdot 750 = 1380$ kg erhalten. Der untere Ring foll daher aus Rundeifen von $2{,}5$ cm Bruttodurchmeffer gebildet werden; der obere könnte noch fchwächer fein,

wird aber aus einem leichten ⊏-Eifen (Nr. 8) hergeftellt, da er die Laft des Deckenlichtes auf die Knoten zu übertragen hat und den nöthigen Körper für das Anbringen von Zinkgefimfen bieten mufs, welche den Uebergang aus der Fläche der Zeltkuppel zum Deckenlichte geben.

Die Kräfte, welche auf die mitten zwifchen den Kraftknoten liegenden ungünftigften Querfchnitte der Gratrippe einwirken, haben fich bei der Beftimmung von H durch Einzeichnen der (eine ungewöhnliche Geftalt annehmenden) durch den Gratkämpfer gehenden Drucklinie des Poles O (Fig. 675) zwifchen die Richtungen der Kräfte o, H und 1 bis 6 der Lage nach in Fig. 674 und der Gröfse nach in Fig. 675 ergeben. Sie beanfpruchen die Querfchnitte auf Biegung mit den für die 4 gefährdetften Querfchnitte in Fig. 675 eingetragenen Hebeln, dann mit der zum Querfchnitte winkelrechten Seitenkraft auf Druck, bezw. in der Nähe des Scheitels auf Zug, und mit der zum Querfchnitte gleich gerichteten Seitenkraft auf Abfcheerung; die letzte Beanfpruchung kann aufser Betracht bleiben.

Für den zwifchen *5* und *6* liegenden Querfchnitt beträgt die wirkende Kraft $4{,}16 \cdot 750 = 3120$ kg, der Hebel 35 cm, die winkelrechte Seitenkraft (nicht eingetragen) $4{,}13 \cdot 750 = 3090$ kg und die gleich gerichtete Seitenkraft $0{,}56 \cdot 750 = 420$ kg; fonach wird das Biegungsmoment $3120 \cdot 35 = 109\,200$ cmkg. Wird Normal-Profil Nr. 16 mit $F = 23$ qcm, $\frac{\mathfrak{J}}{e} = 118$ (auf Centim. bezogen) verwendet, fo ift die gröfste Druckfpannung in der unterften Fafer

$$\frac{109\,200}{118} + \frac{3070}{23} = 1060 \text{ kg},$$

was bei der völlig ruhenden Belaftung eine mäfsige Beanfpruchung genannt werden kann.

Für den Querfchnitt zwifchen *4* und *5* beträgt die Kraft $2{,}96 \cdot 750 = 2220$ kg, der Hebel 55 cm, die winkelrechte Seitenkraft $2{,}96 \cdot 750 = 2220$ kg, die gleich gerichtete Seitenkraft nahezu Null und das Biegungsmoment $2220 \cdot 55 = 122\,100$ cmkg; folglich ift der gröfsefte Druck in der Unterkante des Normal-Profils Nr. 16

$$\frac{122\,100}{118} + \frac{2220}{23} = 1132 \text{ kg},$$

was mit Rückficht auf die ruhende Laft noch zuläffig ift.

Für den Querfchnitt zwifchen *3* und *4* beträgt die Kraft $1{,}84 \cdot 750 = 1380$ kg, der Hebel 74 cm, die winkelrechte Seitenkraft $1{,}76 \cdot 750 = 1320$ kg, die gleich gerichtete Seitenkraft $0{,}48 \cdot 750 = 360$ kg und das Biegungsmoment $1380 \cdot 74 = 102\,120$ cmkg; folglich ift der gröfste Druck in der Unterkante:

$$\frac{102\,120}{118} + \frac{1320}{23} = 922 \text{ kg}.$$

Von hier an werden die Querfchnitte wieder ficherer, und das Normal-Profil Nr. 16 genügt demnach.

Bei der Berechnung ift nicht berückfichtigt, dafs die Hebel entfprechend 14 cm Trägerhöhe abgegriffen find, letztere nun aber 16 cm hoch ausfällt. Der entftandene Fehler ift in dem gewählten Mafsftabe nicht nachzuweifen.

Die Ausführung der in folcher Weife ihren Abmeffungen nach feft gelegten Conftruction ift bezüglich der wichtigften Knoten in Fig. 676 bis 680 dargeftellt. Fig. 676 bis 678 zeigen die Verbindung der Gratrippe mit dem unteren Zugringe und ihre Auflagerung. Die lothrecht abgefchnittene Rippe fetzt fich in ein nach dem Winkel des Achteckes gebogenes (in Fig. 678 abgewickeltes) Knotenblech von 1 cm Dicke und wird durch zwei gebogene Lafchenbleche mit ihm verbunden. Unten trägt das Knotenblech zwei Winkel-

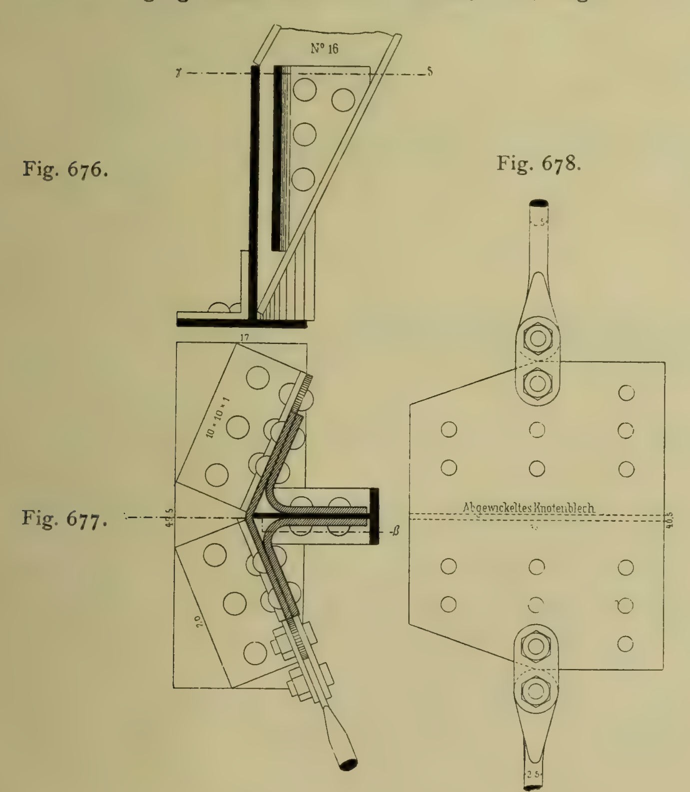


Fig. 676.

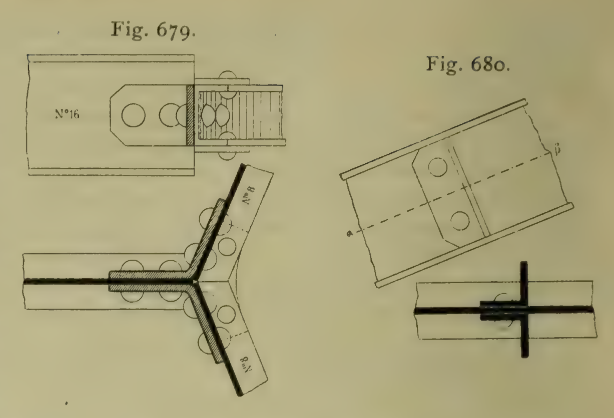
Fig. 677.

Fig. 678.

abfchnitte und mittels diefer an unten verfenkten Nieten eine Bodenplatte, welche grofs genug fein mufs, um den nach Fig. 675: $V = 3{,}76 \cdot 750 = 2820^{kg}$ betragenden Auflagerdruck gehörig auf das darunter liegende Mauerwerk zu vertheilen. In den Mitten der Seitenkanten des Bleches greifen die beiden Zweige des Zugringes aus Rundeifen mittels flach ausgefchmiedeter Augen und doppelter Lafchung (fiehe Theil III, Band 1, Heft 1 diefes »Handbuches«, 2. Aufl., Art. 232, S. 169) an. Um den Ring von vornherein in Spannung bringen zu können, kann in jeden Zweig ein Schlofs (fiehe ebendaf., Art. 234, S. 163 [251]) eingelegt werden, was bei guter Arbeit jedoch unnöthig ift.

Fig. 679.

Fig. 680.



Der Knoten am Deckenlichtringe wird durch Fig. 679 dargeftellt. Die beiden Ringfeiten aus E-Eifen Nr. 8 find zunächft durch zwei auf- und untergelegte Lafchenbleche unter fich und dann mittels zweier gebogener Blechftreifen beiderfeitig mit dem oberen Rippenende verbunden. Der obere Flanfch des E-Eifens dient zur Auflagerung der Deckenlichtfproffen, welche nicht mit gezeichnet find, und der fo entftehende Höhenunterfchied zwifchen Unterkante des Laternenringes und Deckenlicht kann zur Ausbildung eines Gefimfes benutzt werden.

An jedem der 6 angenommenen Rippenknoten mufs noch dafür geforgt werden, dafs die nicht winkelrecht zur Gratrippe gerichteten Kämpferdrücke der Kappen von der Rippe ficher aufgenommen werden und nicht das Abgleiten der Kappen auf den Rippen nach aufsen, bezw. nach unten zur Folge haben. Es find daher in jedem Rippenknoten zwei Winkelabfchnitte an den Steg genietet, deren abftehende Schenkel in das Kappenmauerwerk greifen und fo jede Bewegung verhindern (Fig. 680).

Fig. 681.

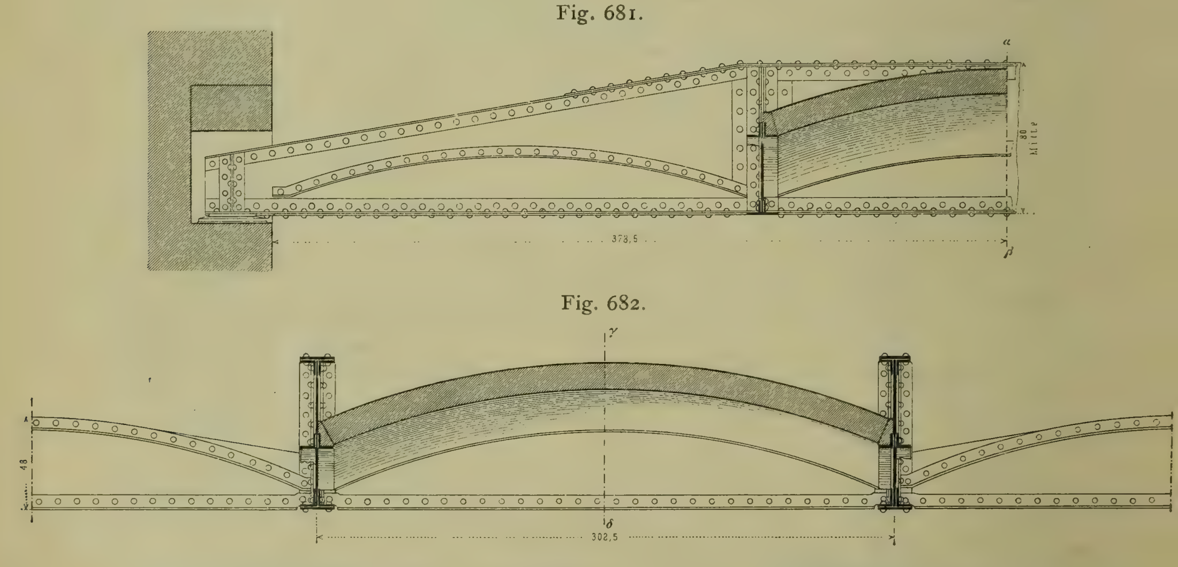


Fig. 682.

439.
Eiferne
Caffettendecke.

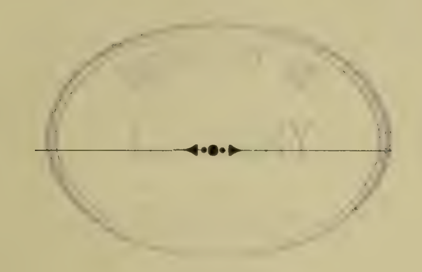
Als drittes Beifpiel ift in Fig. 681 u. 682 eine eiferne Caffettendecke aufgetragen, deren Caffettenböden durch böhmifche oder richtiger doppelt gekrümmte preufsifche Kappen gebildet werden, und welche über den zwifchen fteinernen Viaducten liegenden Flurgängen und Wartefälen der Bahnhöfe der Berliner Stadtbahn mehrfach angewendet ift.

Die Decke befteht aus einem ftarken, die Bahnfteige tragenden Trägerrofte, in welchem die trapezförmigen Hauptträger (Fig. 681) von Viaductftirn zu Viaductftirn geftreckt wurden und der Schlufs der

[251]) 2. Aufl.: Art. 239, S. 176.

nicht ganz quadratifchen Felder dann durch kleine zwifchen die Hauptträger eingenietete, gleichfalls trapezförmige Längsträger (Fig. 682) erfolgte. An die Trägerwände, welche die Mafchen diefes Roftes umfchliefsen, find nach gleichen Halbmeffern gekrümmte Winkeleifen zur Aufnahme der Kämpfer der Kappenwölbungen angenietet, von denen die an den kleinen Längsträgern befeftigten zugleich die obere Gurtung der letzteren bilden; es entfteht fo der aus Fig. 681 erfichtliche verkehrt I-förmige Querfchnitt.

Da die Felder im Grundrifs rechteckig, alle Kämpferwinkel aber nach demfelben Halbmeffer gekrümmt find, fo können die Kappen ftreng genommen keine böhmifchen genannt werden; fie entftehen, wenn man den kleineren an den Hauptträgern liegenden Schildbogen auf den gröfseren an den Längsträgern in ftets lothrechter Stellung gleiten läfft. Uebrigens find in diefem Falle die Uebermauerungen der Kappen zum Tragen der Bahnfteige mit ausgenutzt, fo dafs die Kappen die Laften auf die Träger übertragen. Dabei gleichen fich die Kappenfchübe für die Träger aus, und die letzten Kappen finden ihre Kämpfer in den zur Aufnahme der Schübe ausreichend ftarken Viaductftirnen zwifchen den verdeckten Lagern der Hauptträger. Die letzten Kappen hier unmittelbar gegen die Viaductftirnen zu fetzen, erfchien unbedenklich, weil einerfeits erhebliche Wärmefchwankungen in den Räumen nicht vorkommen, andererfeits die Bewegungen der nur kurzen Hauptträger auch nur unerhebliche fein würden.



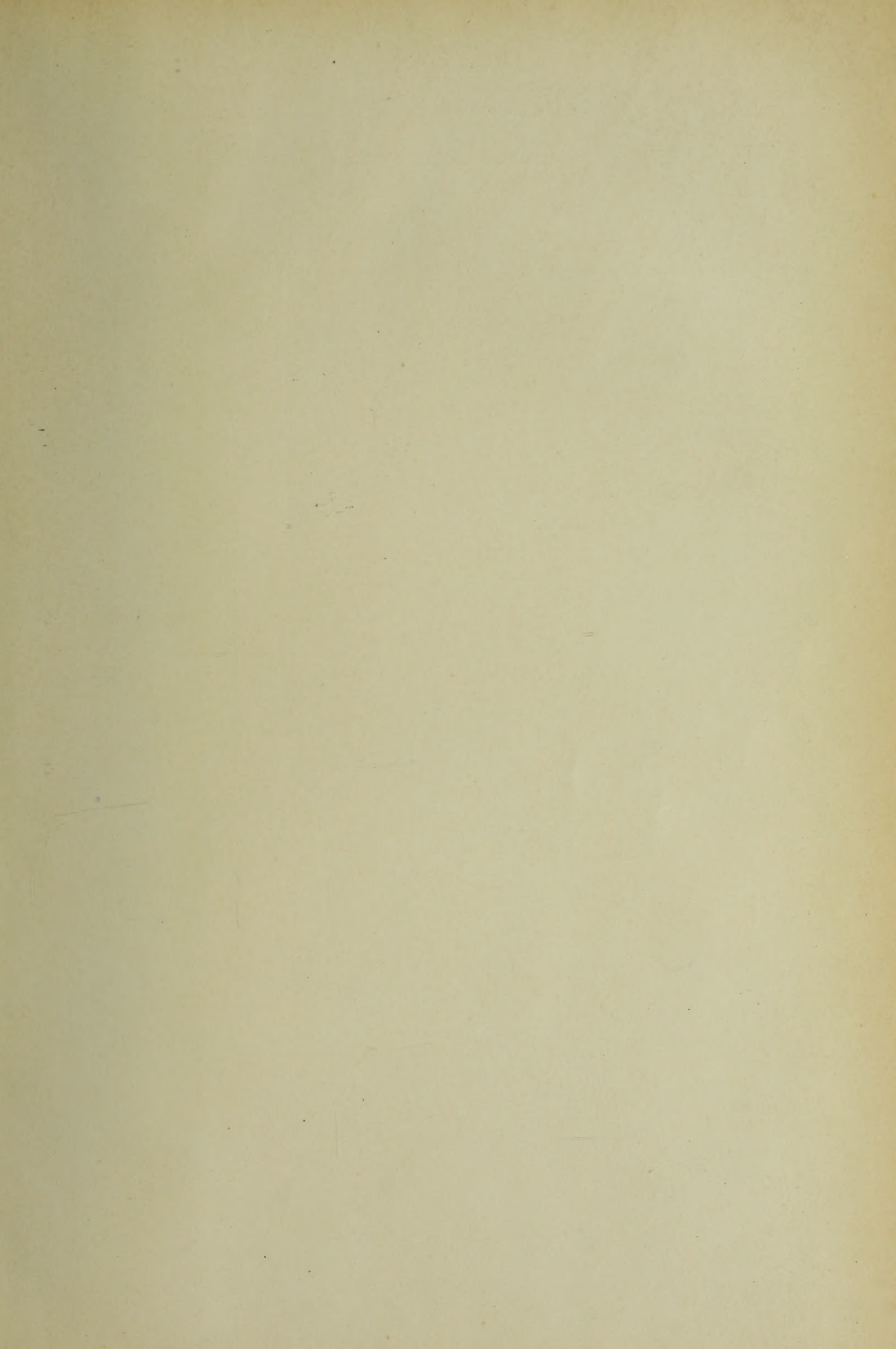
Berichtigungen.

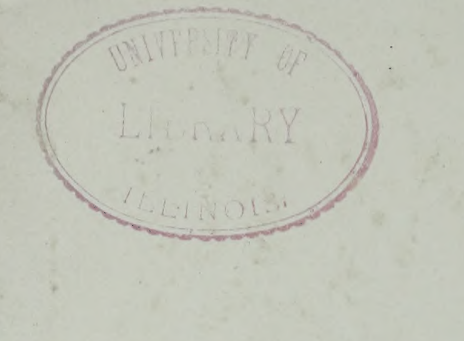
S. 94, Zeile 5 v. u.: Statt »1 qcm« zu lefen: »1 qm«.
S. 274, » 13 v. o.: Statt »Zugankern« zu lefen »Zuganker«.
S. 275, » 10 v. o.: Statt »Gleichung« zu lefen »Gleichung 199«.
S. 279, » 12 v. o.} S. 280, » 10 v. u.}: Statt »*o2*, bezw. *24*« zu lefen »*ki*, bezw. *il*«.
S. 288, » 17 v. o.: Statt »geordneten» zu lefen »geordneter«.










UNIVERSITY OF
LIBRARY
ILLINOIS

32 m + 4, 20 m @ 20 ©

7.24


UNIVERSITY OF ILLINOIS-URBANA
3 0112 055053208